



Kernekraft og nuklear sikkerhed 2011

Lauritzen, Bent; Ølgaard, Povl Lebeck; Aage, Helle Karina; Hedemann Jensen, Per; Kampmann, Dan; Nonbøl, Erik; Nystrup, Poul E.; Thomsen, Jimmy

Publication date:
2012

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Lauritzen, B. (Ed.), Ølgaard, P. L. (Ed.), Aage, H. K., Hedemann Jensen, P., Kampmann, D., Nonbøl, E., Nystrup, P. E., & Thomsen, J. (2012). *Kernekraft og nuklear sikkerhed 2011*. DTU Nutech. DTU-Nutech-R No. 2

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Kernekraft og nuklear sikkerhed 2011



DTU-Nutech-2(DK)

Redigeret af B. Lauritzen og P.L. Ølgaard
Juli 2012

Forfatter: Bent Lauritzen og Povl. L. Ølgaard (red.), Helle Karina Aage, Per Hedemann Jensen, Dan Kampmann, Erik Nonbøl, Poul E. Nystrup og Jimmy Thomsen
Titel: Kernekraft og nuklear sikkerhed 2011
Afdeling:

Resume (max. 2000 char.):

Rapporten er den niende rapport i en serie af årlige rapporter om kernekraft og nuklear sikkerhed. Rapporten er udarbejdet af medarbejdere ved Risø DTU og Beredskabsstyrelsen. Den omhandler den internationale udvikling inden for kernekraft med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold og nukleart beredskab. Rapporten for 2011 dækker følgende emner: Kernekraft efter Fukushima, status for kernekraftens el-produktion, regionale tendenser, reaktorudvikling, beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft, Fukushima-ulykken samt internationale forhold og konflikter.

DTU-Nutech-2(DK)
Juli 2012

ISSN 0106-2840
ISSN 1604-4177
ISSN 1603-9408
ISBN 978-87-995321-1-7

Kontrakt nr.:

Gruppens reg. nr.:
DTU-Nutech-2

Sponsorship:

Forside:
Bushehr kernekraftværk, Iran
Kilde: Rosatom State Corporation
fotogalleri

Sider: 50

DTU Nutech
Center for Nukleare Teknologier
Danmarks Tekniske Universitet
Postboks 49
4000 Roskilde
Danmark
Telefon 46774005
nuk@dtu.dk
Fax 46774013
www.nutech.dtu.dk

Indhold

Forord 4

1 International kernekraftstatus 5

- 1.1 Kernekraft efter Fukushima 5
- 1.2 Kernekraftens el-produktion 6

2 Regionale tendenser 10

- 2.1 Vesteuropa 10
- 2.2 Central- og Østeuropa 13
- 2.3 Nordamerika 19
- 2.4 Asien 21
- 2.5 Andre lande 26

3 Udvikling af reaktorer og sikkerhed 28

- 3.1 VVER trykvandsreaktoren 28
- 3.2 Beredskabssystemer 29

4 Nuklear sikkerhed 32

- 4.1 Fukushimaulykken 32
- 4.2 EU's stresstest 37
- 4.3 Andre sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft 39
- 4.4 Internationale forhold og konflikter 41

APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg 42

APPENDIKS B: Internationale organisationer 44

APPENDIKS C: Anvendte forkortelser 47

Forord

”Kernekraft og nuklear sikkerhed 2011” er den niende rapport i en serie af årlige rapporter om kernekraft og nuklear sikkerhed. Rapportserien, der tidligere blev udgivet af Risø DTU, udarbejdes i samarbejde med Beredskabsstyrelsen og har til formål at informere myndigheder, medier og offentlighed om den internationale udvikling inden for kernekraft med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold og nukleart beredskab.

Rapporten for 2011 dækker følgende emner: International kernekraftstatus, regionale tendenser, reaktorudvikling, beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft, Fukushima-ulykken samt internationale forhold og konflikter.

Følgende medarbejdere fra DTU Nutech¹ (DTU), Beredskabsstyrelsen (BRS), og Dansk Dekommissionering (DD) har bidraget til denne rapport:

Helle Karina Aage	BRS (3.2)
Per Hedemann Jensen	DD (4.1)
Dan Kampmann	BRS (2.2 og 4.3)
Bent Lauritzen	DTU (1.1, 1.2, 2.4 og 2.5)
Erik Nonbøl	DTU (1.2, 3.1 og 4.1)
Poul Erik Nystrup	BRS (2.3)
Jimmy Thomsen	BRS (4.2)
Povl L. Ølgaard (konsulent)	DTU (2.1 og 4.4)

¹ Pr. 1. januar 2012 er Afdelingen for Strålingsforskning, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi, en del af DTU Nutech / Center for Nukleare Teknologier. Adressen er fortsat DTU Risø Campus, Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde. Læs mere om Center for Nukleare Teknologier på www.nutech.dtu.dk

1 International kernekraftstatus

1.1 Kernekraft efter Fukushima

Som det fremgår i denne rapport, er kernekraftværket i Fukushima, som blev ramt af jordskælv og tsunami den 11. marts 2011, ved at blive bragt under kontrol i en såkaldt kold nedlukning. Omfanget af ulykken, som førte til evakuering af mere end 100.000 mennesker, og de økonomiske og sociale konsekvenser af ulykken er også ved at blive kortlagt. Ulykken er bedømt som en niveau-7 ulykke på den internationale INES skala, samme niveau som Tjernobyl-ulykken i Ukraine i 1986, selv om Fukushima-ulykken hverken i det tekniske forløb eller i omfanget af konsekvenserne af ulykken kan sammenlignes med Tjernobyl-ulykken.

Fukushima-ulykken førte til en delvis nedsmeltning af tre af reaktorerne, og store mængder radioaktive stoffer er sluppet ud til atmosfæren og til havet. Det tekniske forløb er imidlertid kun delvist kendt, og der er stadigvæk uafklarede spørgsmål til såvel hændelsesforløbet og til reaktorerens præcise tilstand. Der vil formentlig gå flere år, før der vil blive adgang til selve reaktorkernerne, så graden af nedsmeltning kan bestemmes.

I Europa har samtlige kernekraftlande underkastet deres kernekraftværker og enkelte andre nukleare anlæg en såkaldt stress-test, der skal klargøre de enkelte værkers sikkerhedsmarginer over for meget alvorlige ulykker (jordskælv, oversvømmelser) som dem, der forårsagede Fukushima-ulykken. Resultatet af disse undersøgelser er ved at blive evalueret, og en samlet rapport kan ventes midt i 2012. Tilsvarende undersøgelser finder sted i andre lande, der enten har eller planlægger at bygge kernekraftværker, og i flere lande, bl.a. Kina, er udbygningen af kernekraft sat i bero, indtil analyserne er gennemført.

Der tegner sig allerede nu et billede af de energipolitiske følger af ulykken. I Europa har Tyskland i konsekvens af Fukushima-ulykken besluttet at fremrykke afviklingen af kernekraft til år 2022. Beslutningen ventes at koste Tyskland i størrelsesordenen 200 mia. euro, hvilket er mere, end oprydningsarbejdet i Japan efter havariet af reaktorerne anslås at koste. I Italien blev udfaldet af en folkeafstemning, der var planlagt inden ulykken, men gennemført efter, et nej til kernekraft, og Italien har derfor opgivet at bygge en række planlagte kernekraftværker. Schweiz og Belgien har indtil videre besluttet, at der ikke skal bygges nye kernekraftværker til erstatning for de eksisterende, når disse på et tidspunkt lukkes.

Fjorten andre kernekraftlande i Europa: Armenien, Bulgarien, Finland, Frankrig, Holland, Rumænien, Slovakiet, Slovenien, Spanien, Storbritannien, Sverige, Tjekkiet, Ukraine og Ungarn, har ikke ændret energipolitikken på det nukleare område som følge af Fukushima-ulykken. Af disse lande har Bulgarien, Finland, Frankrig, Slovakiet og Ukraine igangværende byggeri af kernekraftværker, mens Litauen, Polen, Storbritannien og Tjekkiet har planer om at påbegynde byggeriet af nye kernekraftenheder.

Uden for Europa planlægger Kina, Indien, Rusland og Sydkorea fortsat at udbygge kernekraften. I Kina, der står for over halvdelen af det igangværende, globale byggeri af kernekraftværker, er igangværende byggeri af kernekraftværker genoptaget, mens tilladelsen til at påbegynde nye enheder afventer en fornyet sikkerhedsvurdering. Rusland og Sydkorea planlægger en kraftig udbygning af kernekraft nationalt, samtidig med at de begge aktivt søger at udvikle eksport af kernekraftteknologi, specielt til nye kernekraftlande.

Japan havde efter Fukushima-ulykken afvikling af kernekraft på dagsordenen, og alle landets kernekraftværker er blevet lukket ned i perioden efter ulykken. Den nuværende regering planlægger imidlertid at genåbne de fleste af disse enheder, dels

af økonomiske grunde, dels for at Japan igen kan få sikret elektricitetsforsyningen, men den langsigtede målsætning er, at Japan skal mindske afhængigheden af kernekraft.

I USA fortsætter processen med at levetidsforlænge de eksisterende værker, hvor over 2/3 af værkerne i dag har opnået en driftstilladelse på 60 år. Samtidig forberedes det at opføre nye værker, dels igennem myndighedernes typegodkendelse af 3. generations reaktorer, dels ved konkrete ansøgninger om at bygge nye enheder.

Globalt set tegner der sig således stadigvæk et billede af en renæssance for kernekraft. Argumenterne for kernekraft er uændrede i forhold til tidligere, og begrundes i ønsket om forsyningssikkerhed, i økonomi, og i en bæredygtig energiproduktion uden udslip af CO₂. Omvendt er fokus i debatten for og imod kernekraft flyttet fra håndteringen af det radioaktive affald til at omhandle sikkerheden ved kernekraftværkerne. På globalt plan vil Fukushima-ulykken forventeligt betyde en opbremsning i bygning af kernekraftenheder, men ikke i, at den langsigtede udbygning af kernekraft standser. Der vil dog være store forskelle landene imellem.

1.2 Kernekraftens el-produktion

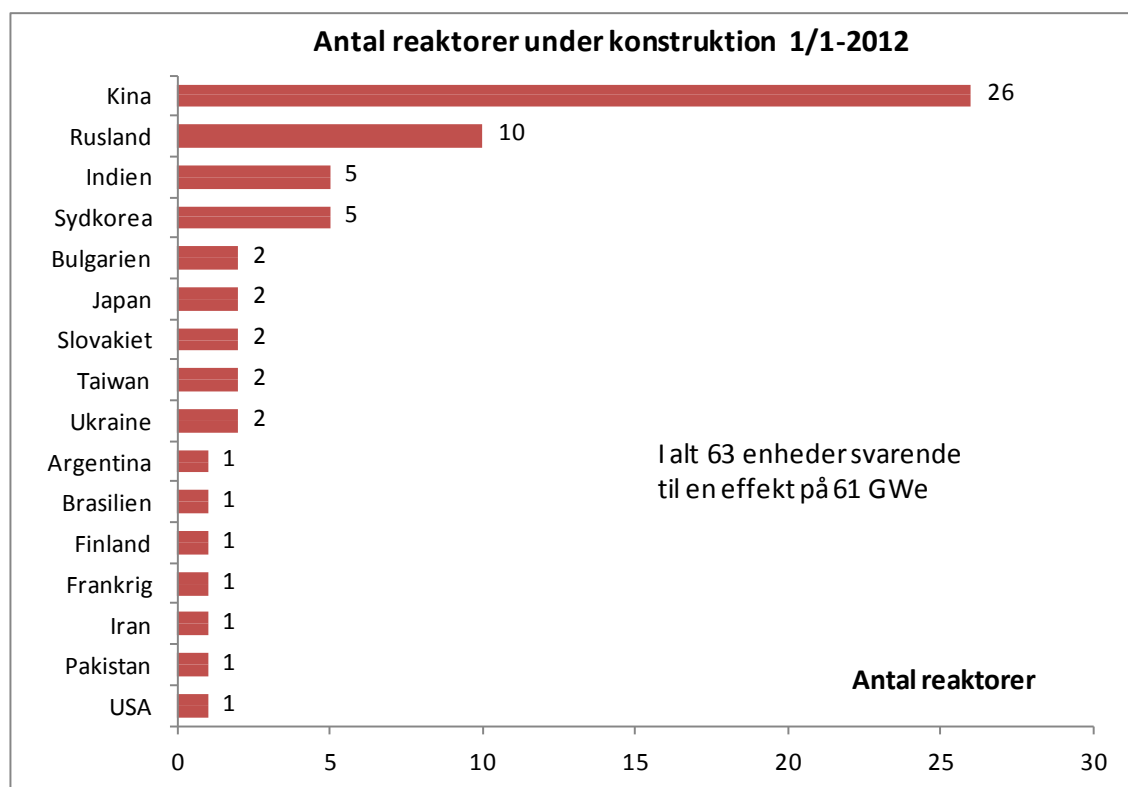
Kernekraft anvendes i 31 lande, fortrinsvist i den industrialiserede del af verden (Tabel 1.1). Derudover har seks lande, der ikke i dag har kernekraft (De Forenede Arabiske Emirater, Tyrkiet, Bangladesh, Jordan, Hviderusland og Vietnam), konkrete planer om at bygge kernekraftværker, mens ca. 10 andre lande på længere sigt planlægger at indføre kernekraft. Den samlede installerede kapacitet er 367 GWe, og kernekraft udgør 13% af den globale elproduktion.

Fukushima-ulykken i Japan den 11. marts 2011 blev på flere punkter skelsættende for udviklingen af kernekraft. Ulykken, hvor brændslet i de tre ældste Fukushima-enheder delvist nedsmeltede, førte til en radioaktiv forurening af et stort landområde i Fukushima-præfekturet, hvorfor et meget stort antal mennesker måtte evakueres. Ulykken betød samtidig, at sikkerheden ved kernekraftværker verden over blev revurderet, såvel hvad angår sikkerhedskultur, hvorvidt værkernes design kan modstå udfald af strømforsyning og nødkøling, og hvorvidt beredskabet fungerer effektivt for at forhindre alvorlige konsekvenser af en kernekraftulykke.

Ulykken medførte også, i det mindste på kort sigt, at holdningen til anvendelse af kernekraft i en række lande skiftede til at være mere negativ, og til en opbremsning i udbygningen af kernekraftværker. Som direkte følge af Fukushima-ulykken blev 12 enheder taget ud af drift i 2011: De fire forulykkede enheder (Fukushima Daiichi-1 til -4), samt 8 ud af 17 tyske kernekraftenheder: Biblis-A, Biblis-B, Brunsbüttel, Isar-1, Krümmel, Neckarwestheim-1, Philippsburg-1 samt Unterweser. I alt faldt den installerede kernekraftkapacitet med 11,1 GWe som direkte følge af ulykken.

Samtidig hermed blev syv nye kernekraftenheder sat i drift i løbet af 2011: Kaiga-4 i Indien (202 MWe, PHWR), Chasnupp-2 i Pakistan (300 MWe, PWR), Bushehr-1 i Iran (915 MWe, PWR), Kalinin-4 i Rusland (950 MWe, PWR) samt i Kina Lingao-4 (1000 MWe, PWR), CEFR (20 MWe, FBR) og Qinshan 2-4 (610 MWe, PWR). Samlet er den installerede nukleare effekt faldet med 7,4 GWe. i løbet af 2011.

Byggeriet af fire nye kernekraftenheder blev påbegyndt: Chasnupp-3 og -4 i Pakistan (2 x 315 MWe, PWR) samt Rajasthan-7 og -8 i Indien (2 x 630 MWe, PHWR). De fire nye enheder blev alle påbegyndt efter Fukushima-ulykken den 11. marts 2011, mens ulykken har betydet, at der i modsætning til de seneste år ikke blev påbegyndt nye enheder i Kina.



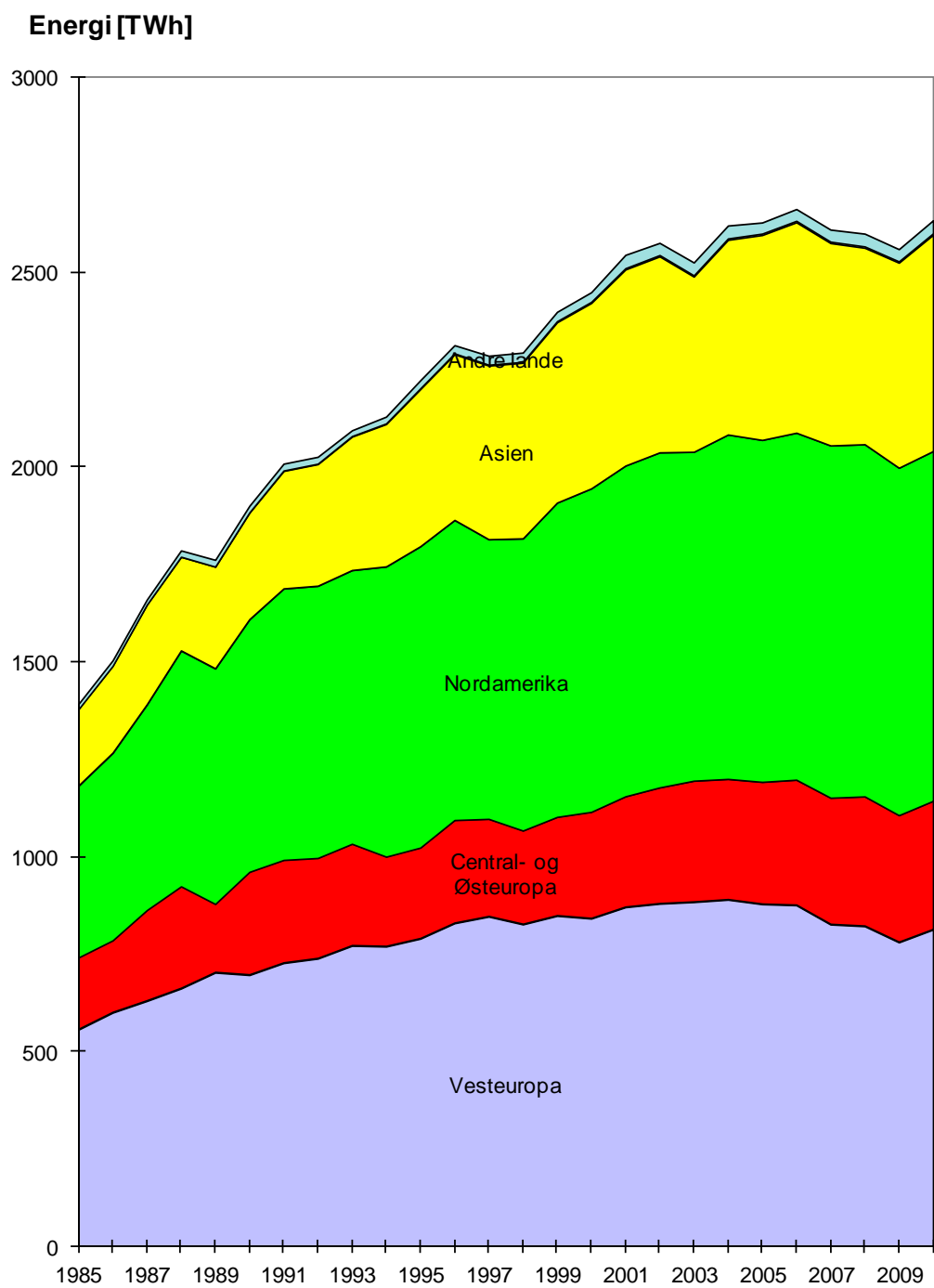
Figur 1.1. Kernekraftenheder under opførelse.

Tabel 1.1. Antal kernekraftenheder, installeret effekt og produceret elektrisk energi samt kernekraftens andel af el-produktionen i forskellige regioner i verden.

	Antal enheder (1/1-2012)	Installeret effekt (GWe) (1/1-2012)	Produceret energi 2010 (TWh)	Andel af el- produktion 2010 (%)
Vesteuropa	120	114,4	813,7	27,5
Central- og Østeuropa	68	48,4	330,6	17,7
Nordamerika	124	115,1	898,2	18,0
Asien	116	84,0	556,0	7,5
Andre lande	6	4,6	33,5	-
Globalt	434	366,5	2632,0	13,0

Tabel 1.2. Antal kernekraftenheder, installeret effekt og produceret elektrisk energi samt kernekraftens andel af el-produktionen i de enkelte lande.

	Antal enheder (1/1-2012)	Installeret effekt (GWe) (1/1-2012)	Produceret energi 2010 (TWh)	Andel af el- produktion 2010 (%)
Vesteuropa				
Belgien	7 PWR	5,9	45,7	51,2
Finland	2 BWR, 2 VVER	2,7	21,9	28,4
Frankrig	58 PWR	63,3	410,1	74,1
Holland	1 BWR	0,5	3,8	3,4
Schweiz	2 BWR, 3 PWR	3,2	25,3	38,0
Spanien	2 BWR, 6 PWR	7,5	59,3	20,1
Storbritannien	1 PWR, 3 GCR, 14 AGR	9,9	62,9	15,7
Sverige	7 BWR, 3 PWR	9,3	55,7	38,1
Tyskland	2 BWR, 7 PWR	12,1	133,0	22,6
Central- og Østeuropa				
Armenien	1 VVER	0,4	2,3	39,4
Bulgarien	2 VVER	1,9	14,2	33,1
Rumænien	2 PHWR	1,3	10,7	19,5
Rusland	15RBMK, 17 VVER, 1 FBR	23,6	159,4	17,1
Slovakiet	4 VVER	1,8	13,5	51,8
Slovenien	1 PWR	0,7	5,4	37,3
Tjekkiet	6 VVER	3,7	26,4	33,3
Ukraine	15 VVER	13,1	83,9	48,1
Ungarn	4 VVER	1,9	14,7	42,1
Nordamerika				
Canada	18 PHWR	12,6	85,5	15,1
Mexico	2 BWR	1,3	5,6	3,6
USA	69 PWR, 35 BWR	101,2	807,1	19,6
Asien				
Indien	2 BWR, 18 PHWR	4,4	20,5	2,8
Japan	24 PWR, 26 BWR	44,2	280,2	29,2
Iran	1 VVER	1,0	0	0
Kina	13 PWR, 2 PHWR	10,0	65,7	1,9
Pakistan	2 PWR, 1 PHWR	0,7	2,6	2,6
Sydkorea	17 PWR, 4 PHWR	18,7	141,9	32,2
Taiwan	6 PWR	5,0	39,9	19,3
Andre lande				
Argentina	2 PHWR	0,9	6,7	5,9
Brasilien	2 PWR	1,9	13,7	3,1
Sydafrika	2 PWR	1,8	12,9	5,2



Figur 1.2. Den globale udvikling i den samlede elproduktion fra kernekraft.

2 Regionale tendenser

2.1 Vesteuropa

Belgien

Et flertal i det belgiske parlament har besluttet at afvikle de belgiske kernekraftenheder. De tre ældste vil blive lukket i 2015 og de øvrige enheder senest i 2025. Nedlukningen forudsætter, at der kan skaffes el på anden måde, og at nedlukningen ikke medfører store prisstigninger på elektricitet. 55% af landets elforsyning kommer fra kernekraft.

Den belgiske regering har øget skatten på el fra kernekraftværker. Dette har fået elværkerne til at overveje en tidligere lukning af de belgiske kernekraftenheder.

Det belgiske, nukleare forsøgscenter SCK-CEN arbejder i samarbejde med universitetet i Louvain på at udvikle en acceleratordreven hurtig reaktor, hvor acceleratoren producerer neutroner, som sendes ind i den næsten kritiske reaktor.

Finland

Færdiggørelsen af TVO's Olkiluoto-3, en 1600 MWe PWR-enhed, der leveres af det franske firma Areva, er forsinket endnu et år, og reaktoren vil først komme i drift i 2014. TVO undersøger mulighederne for at bygge en Olkiluoto-4 enhed med samme effekt. En forudsætning er, at man kan fremskaffe den nødvendige kapital. Fukushima-uheldet ventes ikke at have nogen varig indflydelse på de finske kernekraftplaner.

Fennovoima planlægger at bygge en kernekraftenhed i det nordlige Finland ved Pyhäjoki. Byggeriet af enheden ventes indledt i 2015.

Den finske nukleare sikkerhedsmyndighed STUK har set på landets sikkerhedsbestemmelser på baggrund af Fukushima-ulykken og har ikke fundet grund til nye foranstaltninger. Dog ønsker STUK, at de finske værker sikres ekstra mulighed for nødstrømsforsyning.

Frankrig

De franske kernekraftenheder leverede 74% af landets el-produktion i 2010. Enhederne havde i 2010 en rådighedsfaktor på 78,5%, og man sigter mod at øge denne til 85% i 2015. EdF ønsker at øge levetiden på selskabets kernekraftenheder fra 40 år til mindst 50 år og senere formentlig til 60 år.

Flamanville-3, en 1650 MWe PWR-enhed, er den første EPR-enhed, der opføres i Frankrig, og enheden ventes i drift i 2016, 4 år senere end oprindeligt planlagt. Samtidig er byggeprisen næsten fordoblet, fra 3,3 mia. Euro i 2005 til 6 mia. Euro i dag.

Fessenheim-1, den ældste franske PWR-enhed, har fået en levetidsforlængelse på 10 år, således at levetiden nu bliver på 40 år. Levetidsforlængelsen forudsætter, at der gennemføres et antal forbedringer på enheden. Også Tricastin-1 har fået levetidsforlængelse af de franske sikkerhedsmyndigheder. Den forudsætter også, at en række nye sikkerhedskrav opfyldes. Nogle af disse skyldes erfaringer fra Fukushima-ulykken, f.eks. øget oversvømmelsesbeskyttelse og bedre sikring mod brinteksplosioner.

Der har været uenighed mellem Areva og EdF om, hvilket af de to firmaer, der skal være den ledende, når der bygges nye EPR-enheder. Areva står for reaktordelen af enhederne, mens EdF står for turbine- og el-generator-delen. De to firmaer fortsætter optimaliseringen af EPR ud fra de indvundne erfaringer.

Det franske, nukleare sikkerhedsagentur, ANS, har pålagt alle landets nukleare anlæg at foretage en sikkerhedsgennemgang af deres anlæg og tilhørende organisation. Formålet er et få undersøgt anlæggenes robusthed over for ekstreme begivenheder som dem, der førte til Fukushima-ulykken.

Det socialistiske parti, som er delt i sin holdning til kernekraft, og det grønne parti har aftalt, at såfremt de to partier får regeringsmagten, skal 24 af landets 58 kraftreaktorer lukkes ned i 2025. Det vil reducere kernekraftens andel i el-produktionen fra 75 til 50%. De borgerlige partier er imod nedlukningen, idet de mener, at det vil bringe elforsyningssikkerheden i fare.

Areva og Mitsubishi Heavy Industries arbejder på at udvikle en 1100 MWe Atmea enhed til salg i Nord- og Østeuropa. Også EdF og det franske el-selskab CDF Suez er inddraget i samarbejdet. CDF Suez overvejer at bygge en Atmea-enhed i Rhonedalen. EdF udvikler sammen med det kinesiske China Guangdong Nuclear Power Company en 1000 MWe enhed. Et fransk skibsbygningsfirma er sammen med Areva, EdF og CEA i gang med at designe en mindre kernekraftenhed, der kan anbringes på havbunden. Effekten på denne er 50 til 250 MWe.

Italien

I Italien var der ved en folkeafstemning et flertal imod at opføre nye kernekraftenheder i landet. Dette betyder, at elselskaber, italienske såvel som udenlandske, som havde planer om at bygge nye kernekraftenheder i Italien, nu har opgivet disse.

Schweiz

Det schweiziske parlament har vedtaget, at landets fem kernekraftenheder ikke skal erstattes af nye kernekraftenheder, når disse når deres planlagte levetid, som udløber mellem 2020 og 2034.

Spanien

Ca. 20% af Spaniens elforbrug dækkes af kernekraft. Landets otte kernekraftenheder har bestået de ”stress-tests”, som er blevet gennemført efter Fukushima-ulykken i Japan.

Den tidligere, socialistiske regering besluttede, at Spaniens ældste og mindste kernekraftenhed, Garona-enheden, skulle lukkes i 2013, selv om de spanske sikkerhedsmyndigheder havde udtalt, at enheden kunne fortsætte sikker drift frem til 2019. Den nye, borgerlige regering har besluttet, at Garona-enheden kan fortsætte sin drift efter 2013.

Storbritannien

De tre britiske energikonsortier, EdF Energy, Horizon og NuGeneration (NuGen) har planer om at bygge op til 10 nye kernekraftenheder med en samlet effekt på 16.000 MWe inden 2050. EdF Energy planlægger at bygge to nye kernekraftenheder ved Hinkley Point og to ved Sizewell. NuGen planlægger at bygge en kernekraftenhed i West Cumbria i Nordvestengland.

De nye kernekraftenheder vil blive Areva’s EPR- og Westinghouse’s AP1000-enheder. De britiske sikkerhedsmyndigheder har givet en foreløbig godkendelse af de to reaktortyper.

Det britiske sikkerhedsorgan, Chief Nuclear Inspectorate, har efter en undersøgelse konkluderet, at Fukushima-ulykken ikke giver anledning til at ændre Storbritanniens nukleare aktiviteter.

Der er indgået kontrakter med en række firmaer om dekommissionering af 10 af landets magnox-reaktorer, som er endelig lukket ned. De sidste magnox-reaktorer

planlægges lukket ned i 2014. Man undersøger mulighederne for levetidsforlængelse af AGR-enhederne.

Nuclear Management Partners (NMP), der står for driften af Sellafield, vil dekommissionere anlæggets ældste dele. Sellafield omfatter oparbejdningsanlæg for magnox- og urandioxid-brændsel. NMP har lukket sin fabrik til fremstilling af MOX-brændsel p.g.a. manglende kunder og tekniske problemer. Royal Society har foreslået, at man bygger en ny MOX-fabrik og benytter landets lagre af civilt plutonium på mere end 100 tons til fremstilling af MOX-brændsel til landets kraftreaktorer.

Ifølge den britiske regering er opførelse af nye kernekraftenheder den billigste måde til at reducere CO₂-udslippet. En britisk lov fastsætter, at CO₂-udslippet skal reduceres med mindst 80% fra 1990 til 2050.

I Overhuset er der udtrykt utilfredshed med, at den britiske indsats på kernekraftområdet er for lille, og man ønsker bevillingerne til forskning inden for området øget.

Sverige

El-produktionen på de svenske kernekraftenheder steg i 2010 med 11%.

Den nye borgerlige, svenske regering har ophævet det forbud mod bygning af nye kernekraftenheder, som blev indført af den tidligere, socialdemokratiske regering. De svenske elværker vil dog vente med at tage beslutning om bygning af nye enheder til erstatning af de nuværende, idet det er mere økonomisk at få levetidsforlængelse af de nuværende.

Det svenske reaktortilsyn har anslået, at dekommissioneringen af de svenske kernekraftenheder og deponeringen af det herved fremkomne radioaktive affald vil koste 123 mia. svenske kroner. Tilsynet ønsker derfor at få tredoblet det beløb, som el-selskaberne indbetaler til fonden for håndteringen af det radioaktive affald.

Efter Fukushima-ulykken er der rejst tvivl om, hvorvidt det er hensigtsmæssigt at lade kernekraftværker bestå af flere enheder, idet det er tvivlsomt, om reaktorpersonalet vil være i stand til at håndtere samtidige uheld på flere enheder.

Tyskland

Den tyske regering går ind for en udfasning af landets kernekraftværker så hurtigt som muligt, og vil erstatte denne med vedvarende energi. Beslutningen kommer et halvt år efter, at forbundsdagen vedtog en gennemsnitlig levetidsforlængelse af de tyske kernekraftenheder på 12 år. SPD og De Grønne var imod disse levetidsforlængelser. Regeringen har lukket 8 enheder og de resterende 9 skal lukkes senest i 2022.

Såfremt tysk kernekraft skal erstattes af fossilt fyrede enheder, vil det kræve bygning af 15-20 nye fossilt fyrede enheder. En hurtig afvikling af kernekraften vil blive dyr for landet. El-selskabet E.ON har anlagt sag mod den tyske regering, idet selskabet mener, at lukningen er i strid med den tyske forfatning. De øvrige tyske el-selskaber kræver også erstatning for lukningen af deres kernekraftenheder.

En kommission, der efter Fukushima-ulykken skal analysere de tyske kernekraftværkers sikkerhed, specielt over for naturkatastrofer og terrorangreb, er blevet nedsat. Den tyske komite for reaktorsikkerhed har efter Fukushima-ulykken konkluderet, at de tyske enheder fundamentalt er sikre.

Siemens har solgt sin andel i ArevaNP og har opgivet det nukleare samarbejde med det russiske Rosatom på grund af den tyske politik på kernekraftområdet.

2.2 Central- og Østeuropa

Albanien

Den albanske regering foreslog i november 2008 at bygge et kernekraftværk ved Durres, for derved at sikre landets elforsyning og samtidig muliggøre eksport af elektricitet til nabolandene. I april 2009 indgik Albanien en aftale med Kroatien om bygning af et fælles 1500 MW (elektrisk) kernekraftværk nær grænsen til Montenegro.

Efter ulykken i Fukushima har Albaniens regering besluttet at udskyde beslutningen om bygning af et kernekraftværk, indtil der foreligger nye undersøgelser af risikoen i forbindelse med jordskælv samt en vurdering af de miljømæssige påvirkninger.

Armenien

Armeniens eneste kernekraftenhed, Metsamor-2, er forsynet med en VVER-440/230 reaktorenhed, der ikke opfylder vestlige sikkerhedskrav. Regeringen har i princippet godkendt, at enheden lukkes. Dette vil dog først ske, når en moderne kernekraftenhed til erstatning af Metsamor-2 står klar.

Regeringen godkendte i august 2010 en aftale med Rusland om at bygge en VVER-1000 V-392 kernekraftenhed på 1060 MWe. Den skal bygges af et selskab, Metzamorenenergoatom, med lige deltagelse af Armenien og det russiske firma Atomstroyexport. Enheden er planlagt idriftsat omkring 2019-20. Rusland har påtaget sig at stå for 50 % af finansieringen, og resten forudsættes dækket af Armenien selv samt ved ekstern finansiering.

Bulgarien

Bulgarien har et enkelt kernekraftværk med to VVER-1000 reaktorenheder (Kozloduy-5 og -6). Kernekraft står for ca. 35 % af landets elforsyning.

I 1986 begyndte det bulgarske statslige el-selskab NEK at opføre et kernekraftværk ved Belene. Byggeriet blev indstillet i 1991 efter Tjernobyl-ulykken og de politiske omvæltninger i Østeuropa, men genstartet i 2006, og NEK skrev kontrakt med Atomstroyexport om levering af to VVER-1000 enheder, hver på 1060 MWe.

Efterfølgende er projektet delvist gået i stå. En rammeaftale fra 2010 mellem NEK og det russiske firma Rosatom har ikke skabt klarhed om projektets fremtid. I september 2011 undertegnede NEK og AtomStroyExport en tillægsaftale frem til marts 2012. I aftalen indgik, at man igen skulle forsøge at finde en finansieringsmodel, men der er ikke opnået en endelig afklaring på projektets finansiering. Regeringen overvejer i stedet at opføre nye kernekraftenheder ved Kozloduy.

Estland

Over 90 % af Estlands elektricitet produceres ud fra olieholdig skiffer, hvilket giver en stor udledning af CO₂. For at leve op til kravene fra EU om reduceret CO₂-udslip, skal der ske en betydelig reduktion i udledningerne, hvilket bl.a. planlægges at skulle ske ved kernekraft.

I 2009 vedtog regeringen en ny energipolitik, der indebærer oprettelse af en nuklear tilsynsmyndighed senest i 2012, og som desuden forudsætter opførelse af et kernekraftanlæg på op til 1000 MWe inden 2025.

Byggeriet af eget kernekraftværk er et krævende projekt med hensyn til såvel ressourcer som investeringer, og Estland har derfor vist stor interesse i byggeriet af et fælles baltisk kernekraftværk i Litauen. I marts 2006 underskrev Estland sammen med Letland og Litauen en aftale om at opføre et kernekraftværk i Visaginas (Litauen) på maksimalt 3400 MWe, og der er stadig den dag i dag enighed mellem

de tre baltiske lande om projektets gennemførelse. Der vil dog af miljømæssige årsager muligvis kun blive tale om en enkelt fælles enhed ved Visaginas.

Estland har endvidere mulighed for at få en aftale med Rusland om at aftage elektricitet fra "Det Baltiske Kernekraftværk", der er under opbygning ved Kaliningrad, men dette vil føre til afhængighed af Rusland, hvilket politisk kan være problematisk i Estland.

Hviderusland

Hviderusland planlægger at bygge landets første kernekraftværk nær grænsen til Litauen. Værket vil formentlig bestå af to russiske AES-2006 enheder, hver på 1200 MWe. Formålet med at bygge værket er at mindske landets store afhængighed af import af russisk naturgas.

I oktober 2011 underskrev det hviderussiske "Directorate for Nuclear Power Plant Construction" en foreløbig kontrakt med det russiske selskab Atomstroyexport om levering af de to reaktorer, og efterfølgende blev der opnået tilsagn fra Rusland om et lån på op mod 10 mia. dollars over 25 år til 90% finansiering af byggeriet. Reaktorerne skal leveres nøglefærdige inklusive en aftale med Rusland om levering af brændsel i hele reaktorenes levetid samt tilbagelevering af brændslet til oparbejdning. Den endelige kontrakt forventes underskrevet i første halvår 2012. Første enhed er planlagt i drift i 2017 og den anden i 2018.

Kroatien

Kroatien overvejer, om landet skal satse på at udbygge elsystemet med kernekraftenheder, enten i samarbejde med et naboland eller ved selv at bygge en enhed på en af to udpegede pladser. En endelig afklaring forventes først i løbet af 2012.

Litauen

For ikke at blive for afhængig af import af naturgas og elektricitet fra Rusland overvejes det at bygge en ny kernekraftenhed som et fælles baltisk projekt ved Visaginas. Tidligere eksporterede Litauen elektricitet, men efter nedlægningen af Ignalina-værket, importeres 60 % af forbruget, og prisen for elektricitet er steget voldsomt. Rejsning af den fornødne kapital til bygning af en ny kernekraftenhed vanskeliggøres af, at en kernekraftenhed (Det Baltiske Værk) er under opbygning i Kaliningrad med russisk finansiering. Det russiske værk bliver bygget med eksport for øje.

I februar 2007 blev de tre baltiske lande og Polen enige om at bygge et nyt kernekraftværk ved det nu nedlagte Ignalina-værk. Det planlagte fælles værk blev opkaldt efter den nærliggende by Visaginas. I juli 2011 valgte regeringen Hitachi som strategisk investor og GE-Hitachi skal stå for bygningen af den første enhed, Visaginas 1, der forventes at blive en ABWR-enhed på 1350 MWe. Den er planlagt til at skulle tages i drift omkring 2020. I oktober 2011 orienterede regeringen officielt EU kommissionen om sine planer om at bygge en reaktorenhed ved Visaginas sammen med Estland, Letland og Polen. Polen har imidlertid planer om at opføre eget kernekraftværk og trak sig derfor ud af det fælles projekt i december 2011. De tre baltiske lande er stadig enige om at gennemføre Visaginas projektet. Hvis dette projekt ikke bliver til noget, vil det planlagte baltiske værk i Kaliningrad og de planlagte elektriske forbindelser til Polen (LitPol Link) og Sverige (NordBalt) åbne op for nye muligheder.

Dekommissioneringen af Ignalina-værkets to reaktorenheder ventes at strække sig over 30 år. Et lager til opbevaring af udbrændt brændsel er under opførelse ved Ignalina. Endvidere er der sammesteds bestilt et anlæg til behandling af fast, radioaktivt affald. Begge projekter er stærkt forsinkede, men trods uenighed om årsagerne hertil arbejdes der hårdt på at få anlæggene færdiggjorte. Lageret for brugt brændsel kunne tages i brug i 2011, medens affaldshåndteringsanlægget gradvis

tages i brug i løbet af 2012-2013. Udtagning af brugt brændsel fra Ignalina-2 er ved at være tilendebragt, men der vil gå endnu 4 år inden det vil være overført fra brændselsbassiner og tørdeponering til det nye midlertidige lager for brugt brændsel, hvor det vil blive opbevaret i de næste 50 år.

Polen

Polens produktion af elektricitet er for størstedelens vedkommende baseret på kul og brunkul, hvilket hænger sammen med, at Polen har de største forekomster af kul i EU. Der er også import af naturgas fra Rusland. Den store afhængighed af fossilt brændsel ønskes nedbragt, så udledning af CO₂ kan reduceres.

Regeringen vedtog i november 2009 en energiplan for tiden frem til 2030. Planen blev revideret i september 2010. I planen indgår, at diversiteten i energiforsyningen skal øges. Ud over bl.a. udbygning af vedvarende energi planlægges det at bygge to kernekraftenheder på i alt 3000 MWe, hvor den første enhed forventes i drift i 2025 og den næste i 2029.

En nuklear lovgivning, der dækker opførelse og drift af et kernekraftværk samt behandling af radioaktivt affald og brugt brændsel, blev vedtaget i parlamentet i maj 2011. Den nationale nukleare tilsynsmyndighed skal administrere denne lovgivning under byggeriet af værket.

Polen har indgået samarbejdsaftaler med EdF, Areva, GE-Hitachi og Westinghouse og arbejder på at få lignende aftaler med flere leverandører. Samtidigt er der indgået samarbejdsaftaler med Frankrig, USA og Japan om hjælp til opbygning af tilsynsmyndigheder og udarbejdning af den nødvendige lovgivning. Det forventes, at udbudsmateriale sendes til leverandørerne i løbet af 2012, og at en kontrakt kan underskrives i 2013. Miljøvurderinger og pladsundersøgelser skal gennemføres frem til 2013. Der skal vælges mellem placeringerne Zarnowiec, Choczewo og Gaski, hvor førstnævnte ligger ved en sø og de to sidstnævnte ved den baltiske kyst. Hvis alt går efter planen, kan den første beton støbes i 2016. Kernekraftenheder var i 1980'erne under opførelse i Zarnowiec, men byggeriet stoppede omkring 1990 og komponenter og materialer blev solgt.

I december 2011 trak Polen sig fra det fælles polsk-baltiske kernekraft projekt ved Visaginas i Litauen. Polen krævede en andel af effekten på minimum 1200 MWe fra projektet, men da det stod klart, at der kun kunne opnås tilladelse til bygning af en enkelt kernekraftenhed på grund af miljømæssige forhold omkring køling og dermed opvarmning af søen, der bruges til køling, var forudsætningerne ikke opfyldt. Polen ønsker heller ikke at købe elektricitet fra det nye russiske kernekraftværk, der er under opbygning i Kaliningrad.

Rumænien

Landets to kernekraftenheder, Cernavoda-1 og -2, er af CANDU-typen, hver med en effekt på 655 MWe. Det rumænske el-selskab, Nuclearelectrica, har sin egen brændselselementfabrik i Pitesi, der producerer brændslet til de to enheder. Kernekraft leverer 20% af elektriciteten og kul, vandkraft og gas henholdsvis 40%, 30% og 20%.

Rumænien arbejder på at færdiggøre Cernavoda-3 og -4, der også er CANDU-enheder. To konsortier er under prækvalifikation til færdiggørelsen af projektet, dels et med deltagelse af de firmaer, der færdiggjorde de eksisterende kernekraftenheder i Cernavoda, dels et ledet af det russiske Atomtehnoprom. Rumænien fattes imidlertid penge, og der mangler investorer, der kan stå for 45% af finansieringen på omkring 4 mia. Euro for færdiggørelsen af de to reaktorenheder. Både et kinesisk firma og et sydkoreansk konsortium har vist interesse i at investere i projektet. På trods af de usikre forhold omkring finansieringen forventes de to enheder at blive sat i drift i henholdsvis 2016 og 2017.

Rusland

Produktionen af elektricitet fordelt på energikilder er omtrent 16% fra kernekraft, 48% fra gas, 17% fra kul og 18% fra vandkraft.

Mange af Ruslands kernekraftværker er ved at være gamle, og den oprindelige design levetid på 30 år vil for mange enheder blive overskredet i de nærmeste år. Det vil være nødvendigt at levetidsforlænge disse, indtil der kan etableres alternativer. Der sigtes mod at levetidsforlænge VVER-440 og RBMK enhederne med 15 år og VVER-1000 enhederne med 25 år, og processen er startet med de ældste modeller af VVER-440 (Kola-1 og -2 og Novovoronezh-3 og -4) og RBMK (Leningrad-1 til -4 og Kursk-1 og -2). I de kommende år fortsættes med de øvrige reaktorenheder. Således planlægges alle 11 RBMK enheder at skulle gennemgå en opgradering og levetidsforlængelse. Også den lille hurtigreaktor BN-600 er blevet levetidsforlænget frem til 2025. Nye og større enheder af denne type (BN-800) skal inden da have taget over.

Da Rusland økonomisk set får mere ud af at eksportere naturgas end af selv at bruge den til produktion af elektricitet, vil en stadig mindre andel af gassen fremover blive anvendt til indenlandsk elproduktion. Hertil kommer, at gasproduktionen i det vestlige Sibirien frem mod år 2020 vil falde betydeligt. Rusland satser derfor på en udbygning af såvel kernekraft som vandkraft, således at de tilsammen vil nærme sig 50 % af den samlede el-produktion omkring 2030.

Kernekraftens andel af elforsyningen kan øges på forskellige måder. Kapacitetsfaktoren er øget kraftigt gennem årene fra 56% i 1998 til ca. 80% i 2009, og der sigtes mod en tilgængelighed på omkring 90% i 2015. De fleste kernekraftenheder vil få forøget effekten med i første omgang 4-5 %. Denne proces er i gang. Påbegyndte byggerier af kernekraftenheder har været gået i stå på grund af økonomisk vanskelige tider. Op gennem første halvdel af 1990'erne manglede Rusland økonomiske midler efter omstilling til markedsøkonomi, men ikke mindst med aftaler om eksport af reaktorer til Kina og Iran i slutningen af 1990'erne vendte situationen. Fra omkring år 2000 startede færdiggørelsen af flere tidligere påbegyndte kernekraftenheder.

Der har været flere forskellige scenarier for udbygning af kernekraft i Rusland gennem de senere år, men generelt er forventningerne til antallet af nye reaktorenheder løbende blevet nedjusteret, så der fremover næppe bliver tale om mere end ca. 2 kernekraftenheder om året, og måske 17-19 enheder over de næste 10 år. Sammenholdt med de store muligheder for eksport af kernekraftenheder, der i øjeblikket åbner sig i nuværende og kommende kernekraftlande, vil den russiske kernekraftindustri produktionskapacitet blive hårdt belastet.

I januar 2010 besluttede den russiske regering, at brugen af fossilt brændsel til el-produktion stort set skulle ophøre fra 2050, hvor kernekraftens andel forventes at ligge på omkring 45-50 %. Der skal i stedet satses på udbygning af først og fremmest vandkraft og kernekraft, og kernekraftenhederne skal på længere sigt (fra 2020) i stadig stigende takt bygges som formeringsreaktorer med en høj grad af passiv sikkerhed, dvs. at de kan lukkes sikkert ned uden operatørindgreb eller brug af ekstern strømforsyning. Formeringsreaktorer udnytter uran ressourcerne op til 60 gange bedre end konventionelle reaktorenheder. Frem til 2030 vil VVER reaktorer stadig være dominerende ved nybyggerier. Nye reaktorer vil den nærmeste tid hovedsagelig være en videreudvikling af VVER-1000, kendt som VVER-2006 eller VVER-1200 med en effekt på 1200 MWe.

Opførelsen af det nye "Baltisk Kernekraftværk" i Kaliningrad har tiltrukket sig stor opmærksomhed, idet det bliver bygget med el-eksport for øje, og der sigtes mod at opnå aftaler med de baltiske lande, Polen og Tyskland om at aftage elektricitet. For at undgå at benytte transmissionslinjer gennem Polen, overvejes det at bygge en linje gennem Østersøen direkte til Tyskland, der kan få behov for øget import af

elektricitet i forbindelse med nedlægningen af landets kernekraftværker. Bygning af den første enhed i Kaliningrad er påbegyndt, og den kan udgøre en alvorlig trussel for de tre baltiske landes bestræbelser for at finde investorer til det fælles baltiske værk i Litauen (Visaginas). Det Baltiske Kernekraftværk ejes i første omgang helt af Rosenergoatom, men det er hensigten at sælge op til 49% af aktiekapitalen til udenlandske firmaer.

Færdiggørelsen af formeringsreaktoren Beloyarsk-4 (BN-800) fortsætter, og den forventes at blive sat i drift i 2014. Denne type vil være velegnet til at køre på våbenplutonium, og som navnet antyder, producerer den mere spalteligt materiale, end den forbruger. Naturligt uran indeholder 0,7% U-235, der udgør det fissile materiale i traditionelle reaktorer. BN-600 reaktoren, der er i drift, anvender som udgangspunkt U-235 med ret høje berigninger på 17-26 %, men har også anvendt MOX brændsel.

I en formeringsreaktor forgår fissionsprocessen i reaktorkernen og formering af U-238 til det fissile Pu-239 i et kappe uden om kernen, der sædvanligvis er ret lille. I den avancerede bly-kølede BREST reaktor, der planlægges bygget i Beloyarsk, vil såvel fission som formering skulle foregå i kernen, hvilket bliver en stor udfordring at konstruere.

Det er også planlagt at bygge en bly-bismuth-kølet reaktorenhed i Dimitrovgrad og en SVBR (Svintsovo-Vismutovyi Bystryi Reaktor) i 2017 med forventet drift fra 2021. Dertil kommer en 150 MWt multi-formåls hurtig formeringsreaktor (MBIR). Endelig vil man bygge en BN-1200 enhed, som ventes færdigdesignet i 2017, hvorefter en prototype vil blive bygget i Beloyarsk.

Endvidere bygges et 70 MWe flydende kernekraftværk med skibsreaktorer (2x35 MWe KLT40S) til elproduktion. Værket har været ramt af talrige forsinkelser pga. problemer med finansiering og kapacitetsproblemer. Det flydende værk hedder "Akademik Lomonosov", og det blev søsat ved et skibsværft i St. Petersburg i juni 2010 og skulle ifølge planen, når det er færdigbygget i 2012, sejles til Vilyuchinsk på Kamchatka-halvøen ved Stillehavet og tilsluttes nettet i 2013. Grundet insolvens vil afleveringen fra skibsværftet blive forsinket i omkring 18 måneder. Der er planer om at bygge yderligere syv sådanne enheder. Ud over brug af disse enheder i det arktiske Rusland forventes der også at blive tale om eksport til lande i Sydøstasien. Et isbrydende skib med en kernekraftenhed, Sevmorput, er p.t. under ombygning til boreskib.

Efter Fukushima ulykken er sikkerheden på alle russiske værker blevet gennemgået. I midten af juni 2011 meddelte Rosenergoatom, at der var bevilget 530 mil. USD til installation af ekstra backup af forsyning af elektricitet og kølevand.

Slovakiet

Slovakiet har i alt 4 reaktorenheder af typen VVER-440 af den nyere type 213 i drift. De to ældste er Bohunice-3 og -4, og de to seneste byggede med Siemens instrumentering er Mochovce-1 og -2. Færdiggørelsen af Mochovce-3 og -4 enhederne, hver på 420 MWe, fortsætter. Grundet forsinkelser på grund af EU's stresstests planlægges de først i drift i 2013 og 2014. I 2016 planlægges de to enheder efterfølgende at blive opgraderet med henblik på at øge effekten.

På Mochovce-1 og -2 er effekten forøget med 7 % og på Bohunice-3 og -4 med ca. 14 %. De to kernekraftenheder Bohunice-3 og -4 er gennem opgraderinger endvidere blevet levetidsforlængede frem til 2025.

Der blev i maj 2009 indgået en joint venture aftale med det tjekkiske selskab CEZ om at bygge en ny 1000-1600 MWe kernekraftenhed i Bohunice. Ifølge regeringen vil kernekraftenheden kunne stå færdig omkring 2025.

Udover udbygning af Bohuniceværket overvejer den slovakiske regering at bygge en kernekraftenhed ved Kecerovce som afløser for Bohunice 3-4, men dette projekt er endnu meget usikkert.

Slovenien

Slovenien har med kernekraftværket Krsko en enkelt trykvandsreaktor fra Westinghouse. Værket ejes i fællesskab af Slovenien og Kroatien. Værket leverer ca. 40 % af elforbruget i Slovenien og 15 % af elforbruget i Kroatien. Reaktorenheden er fra 1981 med en design levetid på 40 år. Der er søgt om levetidsforlængelse på ekstra 20 år.

Regeringen har foreslået, at der bygges endnu en reaktor i Krsko på 1100-1600 MWe til idriftsætning i 2020. Parlamentet forventedes at behandle forslaget i 2010, men forslaget er endnu ikke kommet til behandling.

Tjekkiet

Tjekkiet har to kernekraftværker: Dukovany med fire reaktorenheder af typen VVER-440, og Temelin med to enheder af den mere moderne type VVER-1000. Alle 6 reaktorenheder har fået øget effekten gennem de senere år.

Temelin kernekraftværket har plads til yderligere to kernekraftenheder. CEZ bad i 2008 regeringen om at iværksætte VVM-processen for en sådan udbygning, og en miljøreddegørelse blev afleveret til regeringen i maj 2010. Tre leverandører er blevet prækvalificerede i marts 2010. Udbudsrunderen startede i oktober 2011 med henblik på underskrivelse af kontrakt i 2013. De to kernekraftenheder vil sandsynligvis først komme på nettet i 2023-24. Der sigtes mod en effekt på 1200 MWe pr. enhed.

Ukraine

Ukraine har 15 reaktorenheder i drift, to ældre VVER-440 enheder og 13 moderne VVER-1000 enheder. Kernekraft står for omkring halvdelen af landets elforsyning. Resten stammer hovedsageligt fra kul og russisk gas. Landet har egne reserver af uran og kul. Den sidste af de 4 RBMK reaktorer i Tjernobyl blev lukket i 2000.

Designlevetiden for kernekraftenheder i Ukraine er 30 år, men der er planlagt 20 års levetidsforlængelse for samtlige enheder. Endnu har kun de to gamle VVER-440 enheder (Rovno-1 og -2) fra 1981/82 opnået levetidsforlængelser.

For at fastholde en andel på 50 % af elektricitetsforsyningen fra kernekraft vil der blive behov for en fordobling af kernekraftkapaciteten frem til 2030. Ukraine planlægger at bygge op til 20 nye kernekraftenheder over de næste 25 år, men det kniber med finansieringen. Byggeriet af Khmelnytsky-1 og -2 har været gået i stå i mange år, men de planlægges nu til at blive sat i drift i 2016 og 2017.

Ungarn

Ungarn har kernekraftværket Paks med fire VVER-440 enheder. Paks blev renoveret i perioden 2006 til 2009, hvorved effekten af værkets fire enheder blev øget til 470 MWe hver. Samtidigt blev kontroludrustning m.v. moderniseret.

Designlevetiden for reaktorenhederne i Paks er oprindeligt 30 år, men en 20-års levetidsforlængelse af enhederne er godkendt af parlamentet, således at enhederne nu forventes at kunne fortsætte driften frem til 2032-37.

Parlamentet har godkendt, at der gennemføres en VVM-proces for op til 6000 MWe ny produktionskapacitet med kernekraftenheder. Prækvalifikation af leverandører til to nye kernekraftenheder ved det eksisterende kraftværk i Paks er i gang. Værket forventer at sende enhederne i udbud i løbet af 2012, så den første enhed kan sættes i drift i efter 2020 og den anden efter 2025.

2.3 Nordamerika

Nordamerika

USA og Canada har tilsammen 122 kernekraftenheder, der dækker ca. 19 % af elforbruget. Mexico har et enkelt kernekraftværk med to enheder, der dækker 4 % af landets elforbrug.

Canada

De canadiske kernekraftværker ligger alle i den østlige del af landet: De to store værker, Bruce og Pickering med hver seks enheder i drift, samt Darlington med fire enheder ligger i Ontario. Quebec og New Brunswick har hver en enkelt enhed, henholdsvis Gentilly og Point Lepreau, i drift. Alle enhederne er CANDU-enheder, forsynet med reaktorer, der er udviklet af det canadiske AECL.

To af de oprindelig otte enheder i Pickeringværket er lukket ned, og flere af enhederne ved Bruce-værket har været lukket ned, men er blevet renoveret igennem de senere år. Bruce-1 og -2 enhederne, der har været ude af drift siden henholdsvis 1997 og 1995, er nu renoverede og fik herved forøget levetiden med 25 år. De blev i 2011 forsynet med brændsel, og de forventes at blive taget i drift i 2012.

Point Lepreau-enheden undergår ligeledes renoveringsarbejder, der sigter på at forlænge dens levetid med 25-30 år, så den kan fortsætte driften til ca. 2040; den forventes at komme i drift i 2012. Enheden i Gentilly har i lyset af de store forsinkelser udskudt sin renovering til efter, at Point Lepreau igen er kommet i drift.

Provinsregeringen i Ontario har udskudt planerne for opførelsen af to kernekraft-enheder ved Darlington værket og har i stedet besluttet at levetidsforlænge de ældre enheder med 30 år i perioden 2016-2025. Det er dog fortsat planen, at eventuelle nye kernekraftenheder i Ontario i givet fald skal bygges ved Darlington.

AECL, der er ejet af den canadiske stat, er i 2011 blevet delvist privatiseret ved salg af CANDU-delen til SNC-Lavalin for relativt symbolske 15 mio. canadiske dollars, på en sådan måde, at den økonomiske risiko ved færdiggørelse af igangværende projekter dækkes af den Canadiske stat.

I de to delstater Alberta og Saskatschewan er planerne om at opføre nye kernekraftenheder indtil videre sat i bero.

Canada har nogle af verdens største reserver af uran og en betydelig minedrift. Den største mine, Cigar Lake, har været taget ud af drift, siden minen blev delvist oversvømmet i 2006. Minen blev først tømt for vand i sidste del af 2010, og minen ventes først at blive taget i brug igen i 2013.

Forskningsreaktoren ved Chalk River blev lukket ned i maj 2009, da det blev opdaget, at reaktoren havde en lækage af tungt vand, hvorved små mængder radioaktivt tritium blev ledt ud til omgivelserne, og kom først i drift igen i august 2010. Chalk River reaktoren anvendes til produktion af radioaktive isotoper, og produktionen dækker over halvdelen af verdens behov for medicinske isotoper.

Som en følge af Fukushima ulykken i Japan, har de nukleare sikkerhedsmyndigheder (Canadian Nuclear Safety Commission) afkrævet værkejerne en nøje gennemgang af sikkerheden på værkerne samt forslag til forbedringer. Disse analyser er nu udmøntet i en handlingsplan til forbedring af sikkerheden på de canadiske kernekraftværker.

USA

USA har 65 kernekraftværker med i alt 104 enheder i drift. De fleste af værkerne ligger i den østlige og sydlige del af USA. Den samlede installerede kapacitet er på ca. 100 GWe, og kernekraft udgør ca. 20 % af el-produktionen. En enkelt enhed, Watts Bar-2, er under opførelse. Projektet er stærkt forsinket, og enheden ventes først i drift i slutningen af 2015.

I 1988 standsede TVA bygningen af to kernekraftenheder i Bellafonte, men byggetilladelsen er fortsat gældende. I august 2011 besluttede TVA at færdiggøre den ene enhed i stedet for, som ellers planlagt, at bygge en ny AP1000 kernekraftenhed på stedet. Den forventede pris for færdiggørelsen er knap 5 mia. dollars.

Med USA's Energy Policy Act 2005 blev der igen ydet politisk støtte til opførelse af kernekraftværker, og i dag er der tale om en begyndende renæssance for kernekraft. Denne renæssance synes ikke påvirket af ulykken på Fukushima Daiichi kernekraftværket, men nogle projekter er dog forsinket af den økonomiske krise.

To tredje-generations reaktortyper er blevet godkendt i USA: GE-Hitachi's ABWR enhed på 1300-1500 MWe, samt Westinghouse's AP1000 enhed. ABWR-enheden er allerede i drift i Japan, og flere enheder er under opførelse i Japan og Taiwan. AP1000 enheden på 1100 MWe blev som den første Generation III reaktor godkendt i 2006, men designet er senere blevet ændret og ændringen blev godkendt i slutningen af 2011, hvilket åbner mulighed for udstedelse af kombinerede bygge- og driftstilladelser (COL) for reaktorer af denne type.

Ud over disse to reaktortyper har GE-Hitachi ansøgt om godkendelse af ESBWR-enheden (1500 MWe), der er en videreudvikling af ABWR-enheden med flere passive sikkerhedssystemer. Areva har søgt om godkendelse af en amerikansk version af EPR enheden (USEPR, 1600 MWe), der er under opførelse i Finland, Frankrig og i Kina. Mitsubishi har søgt om godkendelse af sin 1700 MWe USAPWR enhed. De tre reaktortyper forventes at blive godkendt i løbet af 2012-15.

Siden 2007 er der indsendt 21 ansøgninger om opførelse af mindst 30 nye kernekraftenheder. Nogle af disse ansøgninger er p.t. sat i bero af forskellige årsager.

Fem ansøgninger for i alt ni enheder har enten fået eller påregnes at modtage tilsagn om lånegarantier. Vogtle i Georgia har fået en lånegaranti for to AP1000 enheder til planlagt idriftsættelse i 2016 og 2017. Andre har fået positive forhåndstilkendegivelser vedrørende deres ansøgninger: Virgil C. Summer i South Carolina (to AP1000 enheder til idriftsættelse i 2017 og 2018/2019), Levy County i Florida (to AP1000 enheder i 2016-18), South Texas Project (to 1350 MWe ABWR-enheder i 2017-18, færdiggørelse usikker), samt Calvert Cliffs i Maryland (en USEPR enhed, usikker). I alle tilfælde er lånegarantierne afhængige af, at enhederne opnår bygge- og driftstilladelse.

De resterende 16 ansøgninger vedrører opførelsen af 21 enheder, med en samlet installeret kapacitet på 26.000 MWe. En enkelt af ansøgningerne er ændret til en ansøgning om godkendelse af en reaktorbyggeplads (ESP), hvor det ikke er besluttet, hvilken reaktortype, der skal bygges. Ved en ESP (Early Site Permit) godkendes lokaliteten til opførelse af en eller flere enheder af godkendt type.

Efter Fukushima ulykken i Japan har præsiden Barack Obama udtalt, at han stadig støtter bygning af nye kernekraftværker. De nukleare sikkerhedsmyndigheder, U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), har, som det også er tilfældet i Canada, afkrævet kraftværkerne en gennemgang af sikkerheden på samtlige 104 enheder. NRC har på baggrund af inspektioner konkluderet, at selv efter svære skader i forbindelse med ekstreme hændelser, vil såvel reaktorkerner som brændselsbassiner kunne holdes kølet. Der blev således ikke konstateret noget behov for straks at nedlukke nogen af dem af hensyn til sikkerheden, men i lyset af de sårbarheder, der blev synliggjort af Fukushima Daiichi ulykken, er en proces sat i gang, som i løbet af 2012 vil blive udmøntet i skærpede krav til kraftværkerne.

Fort Calhoun kernekraftenheden blev taget ud af drift af hensyn til brændselsskift i april 2011. Kort efter steg vandet i Missouri-floden så meget, at enheden var omgivet af vand på alle sider i flere måneder. Sikkerheden var ikke truet på noget tidspunkt, men vandniveauet var så højt, at NRC efterfølgende har stillet krav om store forbed-

ringer af sikkerhedsforanstaltningerne mod oversvømmelser, og der er endnu ikke givet tilladelse til genstart af enheden.

2.4 Asien

Bangladesh

Bangladesh indgik i begyndelsen af 2011 en aftale med Rusland om opførelse af landets første kernekraftværk ved Rooppur, ca. 200 km nord for hovedstaden Dhaka. Værket skal opføres som et nøglefærdigt anlæg af det russiske Atomstroyexport og vil bestå af to 1000 MWe enheder. I aftalen indgår, at Rusland leverer brændsel til værket og tager det brugte brændsel retur.

Forenede Arabiske Emirater

De Forenede Arabiske Emirater planlægger at opføre sit første kernekraftværk ved Braka nær Qatar. Værket, der vil bestå af fire AP-1400 PWR enheder vil blive opført af et konsortium under ledelse af Korea Electric Power Co (KEPCO). Byggeriet er planlagt til at starte i 2012, så de to første enheder kan blive sat i drift i 2017 og 2018.

Indien

Indien har 20 kernekraftenheder i drift, og kernekraft leverer knap 4% af landets elforsyning. I 2011 blev byggeriet af to nye kernekraftenheder påbegyndt, så der nu er syv enheder under opførelse i Indien. De to nye enheder, Rajasthan-7 og -8, er begge PHWR-enheder på 700 MWe, og byggeriet blev påbegyndt i hhv. august og september 2011. De to enheder ventes at blive sat i drift i 2016.

Indien har som målsætning at øge den installerede kernekrafteffekt betydeligt, fra de nuværende 4,4 GWe til i 2032 at have en nuklear effekt på 63 GWe. På grund af Indiens atomvåbenprogram har Indien i en lang årrække været afskåret fra import af udenlandsk reaktortechnologi og uran, hvilket har betydet, at de indiske kernekraftværker i stor udstrækning er baseret på indisk udviklede reaktorer.

Indien indgik i 2008 en aftale med IAEA om begrænset adgang til IAEA-inspektion af landets civile nukleare anlæg, hvilket åbnede op for, at Indien kan importere uran til landets kernekraftværker. Indien har siden importeret uran fra bl.a. det franske firma Areva, fra Rusland og fra Kazakhstan. Adgangen til importeret uran har medvirket til, at kapacitetsfaktoren på de indiske kernekraftværker er steget fra ca. 60% i 2009 til knap 80% i dag.

I juni 2011 blev Indiens tyvende kernekraftenhed, Kaiga-4, en PHWR-enhed på 202 MWe, sat i drift. Denne enhed er den sidste af serien af de forholdsvis små, indisk-udviklede reaktorer, der vil blive bygget. De fremtidige kernekraftværker vil fortrinsvist blive baseret på serien af 700 MWe PHWR-enheder. Da Kaiga-værket ikke er underlagt IAEA-kontrol, kan Indien ikke benytte importeret uran som brændsel til værket.

Den 31. december 2011 blev Indiens 40 MWt CIRUS forskningsreaktor lukket endeligt ned, hvilket var en betingelse for aftalen med IAEA fra 2008. CIRUS-reaktoren, der ligger på Indiens Bhabha Atomic Research Centre ved Mumbai, er blevet benyttet til forskning og til at producere plutonium til atomvåben.

Indien åbnede i 2011 sit fjerde anlæg til oparbejdning af brugt brændsel. Anlægget, der ligger ved Tarapur i delstaten Maharashtra, vil ligesom de tre andre oparbejdningsanlæg blive drevet af Bhabha Atomic Research Centre (BARC). Oparbejdningsanlæggene skal behandle brugt brændsel fra Indiens PHWR reaktorer og er ikke underlagt IAEA-kontrol.

Som følge af Fukushima-ulykken har Indien besluttet at oprette en ny, mere uafhængig national nuklear tilsynsmyndighed, Nuclear Safety Regulatory Authority (NSRA), som skal erstatte Indiens Atomic Energy Regulatory Board (AERB). NSRA får det overordnede ansvar for strålingsbeskyttelse og nuklear sikkerhed ved landets civile nukleare anlæg. Derudover etableres en højniveau nuklear sikkerhedskommission, Council of Nuclear Safety (CNS), med deltagelse af repræsentanter for centralregeringen.

Indiens formerings-forskningsreaktor (FBTR) ved Indira Gandhi Centre for Atomic Research (IGCAR) har fået tilladelse til yderligere 20 års drift. Reaktoren, som er på 40 MWt, har været i drift siden 1985, og indgår i Indiens bestræbelser på at udvikle kommercielle hurtigreaktorer.

Iran

Efter flere forsinkelser satte Iran den 3. september 2011 sit første kernekraftværk, Bushehr-1, i drift. Bushehr-1 er en russisk bygget VVER-1000 enhed med en kapacitet på 915 MWe. Værket vil kunne levere 3% af Irans elforsyning og dermed frigive olie og gas til eksport.

Bushehr-værket blev oprindeligt påbegyndt af Siemens KWU i 1975, men byggeriet blev afbrudt af den iranske revolution i 1979. Efter at have ligget stille i en lang årrække er værket bygget færdigt af Atomstroyexport, hovedsageligt med brug af russiske komponenter. Reaktoren vil i lighed med andre russisk eksporterede kernekraftenheder blive forsynet med uran-brændsel fra Rusland, der også vil tage det brugte brændsel retur. I modsætning til de mere kontroversielle dele af Irans atomprogram, er Bushehr værket bygget og bliver drevet under fuld IAEA kontrol.

Iran har ambitioner om at opnå fuld kontrol over brændselskredsløbet, så Irans kernekraftforsyning bliver uafhængig af import af uranbrændsel fra andre lande. Brændselskredsløbet dækker minedrift, urankonvertering, berigning og brændselsfabrikation samt, for at lukke brændselskredsløbet, oparbejdning af det brugte brændsel, hvorved plutonium og uran fra brændslet genindvindes. Specielt Irans uranberigningsanlæg, og i mindre omfang antagelsen om, at Iran udvikler oparbejdningsanlæg, er genstand for international bekymring, da disse anlæg også vil kunne benyttes i et atomvåbenprogram.

Japan

Fukushima-ulykken den 11. marts 2011 og havariet af fire ud af seks reaktorer på værket har betydet, at alle af Japans 54 kernekraftenheder efterfølgende er taget ud af drift, enten umiddelbart efter ulykken eller i forbindelse med planlagte driftsstop. 22 enheder var allerede lukket ned i forbindelse med brændselsudskiftning eller reparationer, da jordskælvet indtraf. Ved ulykken blev yderligere 11 enheder lukket ned (Fukushima Daiichi, Fukushima Daini, Onagawa og Tokai). Senere er Hamaoka værket (3 enheder) lukket ned af frygt for jordskælv. Ingen af disse nedlukkede enheder er sat i gang igen, og i april 2012 forventes det, at samtlige kernekraftværker i Japan er lukket ned. Da kernekraft, inden ulykken indtraf, udgjorde ca. 30% af Japans elforsyning, har den manglende kapacitet betydet, at det har været nødvendigt i stor udstrækning at indføre rationering af elektricitet.

Mens Japans tidligere premierminister mente, at Japan efter Fukushima-ulykken skulle udfase alle landets kernekraftenheder, ønsker Japans nye regering, der tiltrådte 1. september 2011, at kernekraft fortsat skal indgå i Japans energiforsyning, men at Japan på langt sigt skal reducere afhængigheden af kernekraft. På kort sigt ønsker regeringen, at de standsede reaktorer skal genstartes. Samtidig ønsker regeringen at sikre en bedre kontrol med de nukleare anlæg, så befolkningens tillid til kernekraft kan genskabes.

Genstart af de nedlukkede kernekraftenheder vil først kunne ske, når der for hver enhed er udført en stress-test, der bl.a. skal vurdere værkernes evne til at modstå

jordskælv og oversvømmelse. Dette vil i mange tilfælde betyde, at enhederne skal have bedre nødstrømsforsyninger og nødkølesystemer samt, at der skal etableres mulighed for en filtreret trykaflastning af reaktorindeslutningerne. Muligheden for filtreret trykaflastning betyder, at i tilfælde af en alvorlig reaktorulykke vil et evt. udslip af radioaktive stoffer kunne begrænses, så der ikke opstår behov for længerevarende evakueringer af befolkningen.

I en rapport fra IAEA efter en "fact-finding mission" i juni 2011 fremføres det, at sårbarheden over for oversvømmelser for flere andre nukleare anlæg har været undervurderet. Samtidig anerkender IAEA i sin rapport den japanske regerings indsats for at sikre befolkningen mod følgerne af ulykken og roser indsatsen for at bringe reaktorerne under kontrol, et arbejde, der foregik under meget vanskelige betingelser.

En uafhængig undersøgelseskomite, nedsat af den japanske regering, påpegede i december 2011 en række mangler i såvel den tekniske beskyttelse mod tsunamier og alvorlige ulykker samt svagheder i beredskabet over for disse ulykker. Komiteen konkluderer bl.a., at hverken TEPCO eller de japanske myndigheder havde et tilstrækkeligt beredskab overfor de ødelæggelser, som tsunamien, der ramte Fukushima-værket, medførte, og at der var en manglende erkendelse af muligheden for en kompleks ulykke, der samtidig kunne ramme både kernekraftværket og det omkringliggende samfund.

Tilsvarende konkluderer NISA (Nuclear Industrial Safety Agency) i en rapport, at TEPCO ikke havde forudset muligheden af et langvarigt tab af strømforsyning, og den deraf følgende manglende køling af reaktorerne og vigtigheden af at kunne foretage en kontrolleret trykaflastning af reaktorindeslutningen, samt at TEPCO ikke havde forberedt sig tilstrækkeligt til at kunne håndtere kritiske ulykker.

Den japanske regering annoncerede i august 2011 en plan om oprettelse af en ny og uafhængig nuklear myndighed, "Nuclear Safety Agency", som skal tilknyttes Miljøministeriet. Den nye nukleare myndighed skal erstatte de tidligere myndigheder på det nukleare område. Den skal være tilsynsmyndighed for nukleare anlæg (en funktion, der hidtil har ligget under Ministeriet for Økonomi, Handel og Industri (METI)), samt stå for miljøovervågning. IAEA har tidligere anbefalet de japanske myndigheder at sikre uafhængigheden af landets sikkerhedsmyndighed, men anbefalingen var ikke blevet fulgt.

De samlede økonomiske omkostninger ved ulykken er endnu ikke opgjort, men TEPCO har angivet et tab for perioden april-september 2011 på 25,5 mia. USD, hvilket inkluderer 11,4 mia. USD til udbetaling af erstatninger i perioden indtil marts 2012 til de personer, der er blevet forflyttet som følge af ulykken. TEPCO anslår ekstraomkostningerne ved at skulle benytte fossile kraftværker i stedet for de af selskabets kernekraftenheder, der er sat ud af drift, til at andrage 10,7 mia. USD årligt, mens METI anslår, at Japans samlede omkostninger ved at overgå til fossilt brændsel i stedet for kernekraft vil udgøre 37 mia. USD årligt.

Fukushima-ulykken har medført et fald i eksporten af fødevarer og andre produkter, og ulykken har haft økonomiske konsekvenser for landbrug, skovbrug, fiskeri og turisme i området.

Jordan

Jordan ønsker at opføre landets første kernekraftenhed på 1000 MWe ved Majdal, 40 km nord for Amman. Tre udvalgte reaktorleverandører har i 2011 indgivet tekniske og finansielle forslag til byggeriet af kernekraftværket til Jordans Atomic Energy Commission (JAEC). De tre selskaber bag ansøgningerne er det russiske Atomstroyexport, et Areva-Mitsubishi konsortium, samt Canadas SNC-Lavalin. JAEC ventes at skrive kontrakt med et af selskaberne i begyndelsen af 2012.

Kasakhstan

Kasakhstan har tidligere haft en enkelt, lille kernekraftreaktor, men den er lukket ned. Kasakhstan har derimod store forekomster af uran og har siden 2009 været verdens førende uranproducent. I 2011 var produktionen fra landets 20 uranminer på ca. 19.500 tons uran, svarende til ca. 35% af den globale produktion. Kasakhstan har samtidig en produktion af uranbrændsel, der indtil videre er baseret på russisk beriget uran, og har indgået samarbejder med bl.a. Rusland, Japan, Kina og Indien om at udbygge landets uran- og brændselsproduktion. Kasakhstan regner med inden 2030 at kunne opnå 30% af det globale marked for uranbrændsel.

Kasakhstan overvejer at etablere nye kernekraftværker, som forventeligt vil være baseret på små eller mellemstore enheder.

Kina

Kina havde ved starten af 2011 fire kernekraftværker, Guangdong, Tianwan, Qinshan og Ling Ao med i alt 13 enheder i drift. Yderligere to kernekraftenheder (ved Ling Ao og Qinshan) blev sat i drift i 2011. Kina har samtidig meget ambitiøse planer om en udbygning af kernekraft for at kunne imødekomme landets stærke vækst i behovet for elektricitet. Alene i 2011 steg elforbruget med ca. 12%, og Kina regner også fremover med store økonomiske vækstrater. 25 kernekraftenheder er under opførelse og yderligere 52 enheder er planlagt, hvoraf de 12 er godkendt. I alt planlægger Kina at udbygge kernekraft fra de nuværende 12 GWe til en installeret kapacitet på ca. 200 GWe inden 2030.

Som følge af Fukushima-ulykken indførte Kina et midlertidigt stop for byggeriet af kernekraftenheder og besluttede, at nye værker ikke kan godkendes, før sikkerheden ved disse var revurderet i lyset af Fukushima-ulykken. Den kinesiske nukleare sikkerhedsmyndighed gennemførte i 2011 en sikkerhedsrevision af de kinesiske kernekraftværker.

For de kernekraftenheder, der allerede er under opførelse eller er planlagt, har de kinesiske myndigheder sat fokus på at kvalitetssikre konstruktion og drift, at sikre, at påvirkninger fra eventuelle naturkatastrofer er tilstrækkeligt inkluderet i værkernes sikkerhedsdesign, samt at værkerne vil kunne modstå ekstreme begivenheder, specielt oversvømmelser. De endelige resultater af disse undersøgelser ventes offentliggjort medio 2012.

De to kernekraftenheder, der blev sat i drift i 2011, er Ling Ao II-2 og Qinshan II-4. Begge enheder er sat i drift efter Fukushima-ulykken. Ling Ao II-2 er en kinesisk udviklet CPR-1000 enhed på 1030 MWe, der blev påbegyndt i 2006 og færdigbygget efter 60 måneder. Ling Ao II-2 er den første CPR-1000 enhed, der er forsynet med en kinesisk fremstillet reaktor tryktank. Qinshan II-4 enheden er en CPR-600 enhed på 610 MWe, der ligeledes er kinesisk udviklet, og som blev påbegyndt i januar 2007. Derudover har Kinas "Institute of Atomic Energy" (CIAE) opført en lille eksperimentel hurtigreaktor, CEFR, på 20 MWe, der blev sat i drift i 2011. Reaktoren er af russisk design og er opført nær Beijing.

Hovedparten af de kinesiske reaktorer, der er under opførelse, er kinesisk udviklede reaktorer baseret på Generation II design. CPR-600 enheden er en trykvandsreaktor, der er udviklet i samarbejde med Westinghouse og Framatome, mens CPR-1000 enheden er baseret på den franske 900 MWe serie af trykvandsreaktorer. Derudover opfører Kina to EPR enheder, mens de fleste af de planlagte kernekraftenheder er baseret på Westinghouse's tredjengenerations AP1000 enhed.

Det statslige forskningskontor, State Council Research Office (SCRO), der rådgiver myndighederne om strategiske forhold, har i en rapport fra sidst i 2011 anbefalet, at tempoet i udbygningen af nye kernekraftværker reduceres. Det anbefales, at der kun opføres 100 GWe nye enheder inden 2020. Herved vil det være muligt bedre at kvalitetssikre bygningen af kernekraftenhederne. Det anbefales også, at nye værker

udelukkende skal bestå af Generation III enheder som Westinghouse's AP1000 enhed, i stedet for Kinas egen CPR 1000 enhed. Ifølge SCRO vil opførelsen af disse enheder på i alt 100 GWe kræve en samlet investering på ca. 150 mia. USD.

Kinas "China Guangdong Nuclear Power" (CGNP) har i 2011 færdigudviklet en ny version af CPR-1000 enheden. Denne model, ACPR-1000, har været under udvikling siden 2009, og i følge CGNP lever denne fuldt ud op til internationale sikkerhedskrav. CGNP regner med at kunne markedsføre enheden internationalt fra 2013.

Et kinesisk joint venture selskab, CNNC New Energy Corporation, planlægger at opføre to mindre, modulære reaktorer ved Xianmen som et første del af et multi-reaktor-projekt. Enhederne forventes at blive baseret på ACP100 reaktordesign med passive sikkerhedssystemer.

I marts 2011, kort inden Fukushima-ulykken, blev byggeriet af en prototype højtemperatur-reaktor, HTR-PM godkendt. Højtemperatur-reaktoren bygges efter samme koncept som Sydafrikas Pebble Bed Modular Reactor (PBMR), og enheden på 210 MWe vil bestå af to sådanne reaktorer. I alt planlægges det at bygge 18 enheder ved Shidao Bay i Shandong provinsen, med en samlet kapacitet på 3800 MWe.

Det kinesiske CNNC har oprettet et nyt selskab, CNNC Ruineng Technology Co Ltd, med henblik på at etablere et oparbejdningsanlæg og fabrikation af MOX brændsel. Ved oparbejdning udvindes plutonium fra det brugte brændsel, og plutoniummet indgår i nyt MOX-brændsel, der kan anvendes i eksisterende eller nye reaktorer. Derved lukkes brændselskredsløbet med henblik på at udnytte uranressourcerne væsentlig bedre end ved et "åbent kredsløb". Samtidig reduceres mængden og radio-toxiciteten af det højaktive affald. Byggeriet af oparbejdningsanlægget og MOX-brændselsfabrikationen vil ske i samarbejde med Frankrig (Areva) og Belgien.

Pakistan

Pakistan satte i juni 2011 landets tredje kernekraftenhed, Chashma-2, på 300 MWe i drift. Chashma-2 og søster-enheden Chashma-1 fra 2000 (ligeledes på 300 MWe) er kinesisk byggede, baseret på Kinas Qinshan-1 PWR enhed. I samarbejde med Kina vil der blive opført yderligere to enheder ved værket. Byggeriet af den tredje enhed (Chashma-3) blev påbegyndt i juni 2011 og Chashma-4 ventes påbegyndt i 2012.

Selv om Pakistan ikke har underskrevet IAEA's ikke-sprednings aftale, har landet indgået en aftale med IAEA om IAEA-kontrol af Chashma-værkets fissile materialer.

Saudi-Arabien

Saudi-Arabien har ikke kernekraft, men planlægger at opføre 16 kernekraftenheder over de næste 20 år. De første to enheder er planlagt til at blive sat i drift ca. 2022, hvorefter to enheder skal færdigbygges årligt indtil 2030. Når enhederne er færdigudbygget, vil de kunne dække ca. 20% af Saudi-Arabien's elforbrug.

Syd Korea

Syd Korea har 21 kernekraftenheder i drift, som tilsammen dækker ca. 30% af landets elforbrug. Syd Korea har planer om at øge kapaciteten betydeligt med fem nye enheder i perioden 2012-14 og med en målsætning om, at ca. 40 kernekraftenheder i 2030 vil dække knap 60% af landets elforsyning.

Syd Korea er en betydelig eksportør af kernekraftteknologi og indgik i 2010 en aftale med de Forenede Arabiske Emirater om at levere landets første kernekraftværk, bestående af fire enheder. Syd Korea har en ambition om inden 2030 at have eksporteret 80 kernekraftenheder, hvilket vil betyde en markedsandel på ca. 20%.

Tyrkiet

Tyrkiet har ikke kernekraft, men planlægger at opføre landets første kernekraftværk ved Akkuyu på den østlige Middelhavskyst. Et russisk konsortium bestående af Atomstroyexport, Inter RAO UES samt Rosenergoatom indgav i 2011 en ansøgning om en bygge- og driftstilladelse for værket, der skal bestå af fire 1200 MWe AES-2006 enheder. Værket vil således blive bygget, drevet samt ejet af et rent russisk selskab, mens det er planen, at Tyrkiet senere skal overtage en minoritetsandel i selskabet. De samlede udgifter til at opføre værket er anslået til 20 mia. USD.

Vietnam

Vietnam har ikke kernekraft, men planlægger at opføre flere kernekraftenheder. Det første vietnamesiske kernekraftværk, Ninh Thuan, er planlagt til opførelse ved Phuoc Dinh i det sydlige Vietnam og kommer til at bestå af to VVER-1000 eller VVER-1200 enheder. Værket vil blive opført af det russiske Atomstroyexport som et nøglefærdigt anlæg. Byggeriet ventes at starte i 2014, så værket kan stå færdigt i 2020. Rusland vil finansiere 85% af værket og vil både levere brændsel til værket og tage det brugte brændsel retur.

”Electricity of Vietnam” (EVN) har indgået en aftale med et japanske konsortium, JINED, om design, opførelse og drift af Vietnams næste kernekraftværk. JINED er en sammenslutning af Japans økonomi-, handel- og industriministerium (METI), ni elforsyningsselskaber og tre japanske industrifirmaer. Det planlagte kernekraftværk kommer ligeledes til at ligge i Ninh Thuan og vil bestå af to enheder. De ventes i drift fra 2021 og 2022.

Vietnam har desuden indgået en samarbejdsaftale med Sydkorea med henblik på at opføre Vietnams tredje kernekraftværk, baseret på sydkoreansk teknologi.

2.5 Andre lande

I Sydamerika og Afrika er det kun Argentina, Brasilien og Sydafrika, der har kernekraftværker, men et antal lande i disse verdensdele har vist interesse for indførelse af kernekraft.

Argentina

Argentina har to kernekraftenheder, Atucha-1 fra 1974 og Embalse enheden fra 1983. Argentina har opført enheden Atucha-2, der er under afprøvning og forventes at blive sat i drift i 2012. Atucha-1 og -2 enhederne på henholdsvis 330 og 700 MWe er forsynet med tungtvandsreaktorer, der er designet af Siemens. Denne type findes kun i Argentina. Der er skrevet kontrakt med Atomic Energy of Canada Ltd (AECL) om et moderniseringsprogram for Embalse-enheden, så dens levetid kan forlænges med 25 år.

Det argentinske senat godkendte i 2009 opførelsen af landets fjerde kernekraftenhed, en 740 MWe CANDU-6 enhed fra det canadiske AECL. Siden er andre reaktortyper kommet i betragtning, og op til to enheder kan blive opført på stedet, med tidligste idriftsættelse i 2017.

Brasilien

Brasilien er i gang med at opføre en ny kernekraftenhed, Angra-3, ved landets eneste kernekraftværk, som ligger i nærheden af Rio de Janeiro. Derudover planlægges opførelsen af fire nye kernekraftenheder, to i landets nordøstlige, mindre udviklede del og to i den industrielle, sydøstlige del.

Angra-værket består af to enheder, Angra-1 og -2, som tilsammen leverer ca. 3 % af elforsyningen. Det er besluttet at færdigbygge Angra-3 enheden, der blev påbegyndt i 1984, men opførelsen blev afbrudt i 1986, inden det egentlige byggearbejde var

begyndt. Angra-3 har fået byggetilladelse til byggeriet i maj 2010, og enheden på 1400 MWe forventes taget i drift ultimo 2015.

Sydafrika

Sydafrika vedtog i marts 2011 en ny energiplan, ”Integrated Electricity Resource Plan” (IERP), der dækker perioden frem til 2030. Ifølge energiplanen skal der bygges elværker med en effekt på 52 GWe inden 2030. Heraf skal kernekraft udgøre ca. 10 GWe. Ifølge planen skal seks nye 1600 MWe kernekraftenheder sættes i drift i perioden 2023-2030. Dermed vil anvendelsen af kernekraft i Sydafrika stige fra i dag at dække ca. 5% af el-forbruget til i 2030 at dække ca. 13% af forbruget. Dette er en mindre stigningsgrad end tidligere planlagt.

Sydafrika indstillede i 2010 udviklingen af en 4. generations reaktor, PBMR, på grund af projektets mange forsinkelser og en skuffende økonomi. I stedet forventes nye kernekraftenheder i Sydafrika at blive baseret på 3. generations reaktorer som Arevas EPR-enhed eller Westinghouse’s AP1000 enhed.

3 Udvikling af reaktorer og sikkerhed

3.1 VVER trykvandsreaktoren

Den russisk designede trykvandsreaktor af typen VVER (Vand Vand Energi Reaktor) har siden den blev introduceret i slutningen af 1960'erne gennemgået en betydelig udvikling.

Den første version var VVER-440 / 230, der havde en effekt på 440 MWe. Den var ikke forsynet med reaktorindeslutningsbygning og den havde få sikkerhedssystemer. Den blev hurtigt afløst af VVER-440 / 213 med forbedrede sikkerhedssystemer, herunder et nødkølesystem, men stadig uden reaktorindeslutning. De to finske enheder, Loviisa-1 og -2, er begge af VVER-440 typen, men de blev på finsk initiativ forsynet med såvel reaktorindeslutning som andre vestlige sikkerhedssystemer.

I slutningen af 1970'erne kom VVER-1000, som var forsynet med sikkerhedssystemer og reaktorindeslutning, som lever op til vestlige standarder.

VVER-1200 er det nyeste led i denne udvikling. Den er forsynet med såvel reaktorindeslutning som nødkøle- og andre sikkerhedssystemer. Den første enhed af denne type, som er under opførelse, er Leningrad II-1. Den forventes i drift i 2014. Data for VVER-1200 er givet i Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data for den russiske VVER-1200 enhed

Termisk effekt	3200 MWt
Tilgængelighedsfaktor	90%
Reaktortryk	162 bar
Reaktorindløbstemperatur	298 °C
Reaktorudløbstemperatur	330 °C
Periode mellem brændselsskifte	12 måneder
Byggetid	4½ år
Levetid	60 år
Elektrisk effekt	1200 MWe

Sikkerhedssystemerne i VVER-1200 bygger på det såkaldte "Forsvar i dybden"-princip og omfatter såvel aktive som passive systemer. Udslip af de ved kernespaltningerne dannede nye radioaktive atomkerner, fissionsprodukter, hindres ved indførelse af fire barrierer. Fissionsprodukter dannes i brændselspillerne (UO₂-piller), hvori langt de fleste fissionsprodukter fastholdes (1. barriere). Skulle nogle af dem slippe ud af pillerne, er disse anbragt i tætte indkapslingsrør, som hindrer videre spredning (2. barriere). Skulle der udvikle sig huller i indkapslingen, vil det tætte reaktorkredsløb hindre videre spredning af fissionsprodukter (3. barriere). Skulle der opstå lækager i dette kredsløb, vil reaktorindeslutningsbygningen hindre videre spredning af fissionsprodukter (4. barriere).

VVER-1200 er det første russiske design, der er forsynet med en "kerneopfanger". Skulle reaktorbrændslet ved et meget alvorligt uheld smelte og smelte sig igennem reaktortankens bund, er der under denne anbragt en kerneopfanger, der hindrer, at det smeltede brændsel kan smelte sig videre ned gennem reaktorindeslutningens

bund. Reaktorindeslutningen er også forsynet med en såkaldt rekombiner, der sikrer, at såfremt der ved en reaktorulykke dannes brint inde i reaktorindeslutningen, vil rekombineren fjerne denne og herved fjerne risikoen for en brinteksplosion.

3.2 Beredskabssystemer

Mobile målesystemer til måling af radioaktivitet

Beredskabsstyrelsen forventer primo 2012 at kunne afslutte implementeringsfasen for Beredskabsstyrelsens nye mobile måleudstyr til måling af gammastråling fra radioaktive stoffer i omgivelserne.

Måleudstyret er af samme type, som Japan i samarbejde med USA benyttede til at foretage målinger af den radioaktive forurening omkring det ulykkesramte kernekraftværk Fukushima Daiichi i Japan.

Beredskabsstyrelsen råder over fire sådanne systemer, hvoraf de to systemer er fastmonterede på to specialbyggede udrykningskøretøjer. De to andre systemer anvendes til måling af gammastråling fra luften og er klar til montering på forsvarets helikoptere, hvis det bliver nødvendigt at foretage målinger på større landarealer.



Fig. 3.1. Målesystemer til måling af gammastråling: Bilbårent og luftbårent måleudstyr.

Et femte system blev tidligere benyttet på Færøerne. Det kan flyttes direkte fra bil til helikopter og omvendt.

De mobile målesystemer består af store natriumjodid-detektorer, som er en meget robust detektortype med stor måleeffektivitet. Denne type kan måle ganske små mængder af radioaktivitet og kan f.eks. registrere forskelle i vejbanebelægninger. Selve detektoren er placeret udenbords på transportmidlet (målebil eller helikopter).

Implementeringen af de luftbårne målesystemer har fundet sted i tæt samarbejde med Flyvevåbenet. Det luftbårne måleudstyr har to detektorer, placeret i forlængelse af hinanden, og det er anbragt i en specialboks, der er godkendt til anvendelse i forsvarets helikoptere. Placeringen af de forskellige moduler, herunder målecomputeren, er nøje bestemt i henhold til helikopterens fysiske design samt de ryster mv. måleudstyret udsættes for under flyvning med helikopteren. Før de luftbårne målesystemer kunne tages i brug, var det nødvendigt at teste for en eventuel gensidig elektronisk interferens mellem helikopterens elektriske systemer og målesystemet. Dette foregik i tæt samarbejde med forsvarret, som efterfølgende har godkendt anvendelsen af det nye måleudstyr.

Både bilmålesystemer og flymålesystemer er forsynet med automatisk batteri-backup (USP), således at der også kan måles i situationer, hvor det ikke er muligt at få elforsyning fra transportmidlet (bil eller helikopter).

Målebilerne er yderligere indrettede med specialarbejdsbord, arbejdscomputer, internet- og printfaciliteter og kommunikationsfaciliteter inklusive SINE, der er et selvstændigt digitalt radionet, som beredskabet i Danmark bruger til intern kommunikation. De er også forsynet med håndbårne måleinstrumenter til måling af både gamma- og betastråling.

Anvendelse af mobile målesystemer

Hver detektor er koblet sammen med en computer, der præsenterer resultaterne i analyseret form. Der foretages en måling hvert sekund. Målingerne er spektralmålinger, hvilket vil sige at de enkelte fotoners energi registreres og plottes i et søjlediagram.

Hver måling vises som en vandret række af farvede pixels med 0 keV som venstre endepunkt og 3 MeV (eller mere) som højre endepunkt. Blå pixels angiver få fotoner, og gule pixels angiver mange fotoner. Ændringer i radioaktivitetsniveau tydeliggøres visuelt som fremtrædende farveændringer i de pixels, der vises på skærmen. Nedenstående billede viser en køretur på Storebæltsbroen. De to pyloner med ankerblokke træder tydeligt frem som gule markeringer.

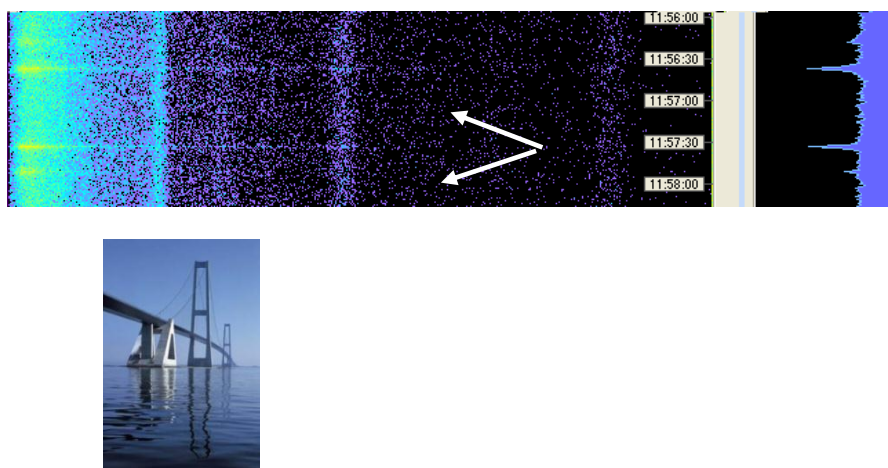


Fig. 3.2. Forskelle i naturlig radioaktivitet på Storebæltsbroen.

Målingerne gemmes i en database sammen med tilhørende positionsdata fra en GPS. Ved måling med helikopter anvendes både GPS og højdemåler. Højdemålingerne lagres sammen med de øvrige data, og strålingsniveauet på jorden (den hastighed hvormed personer på jorden bestråles), beregnes ud fra disse.

Systemet giver selv alarm, såfremt der måles høje koncentrationer af naturlig radioaktivitet, eller radioaktivitet som ikke er naturligt forekommende, og derfor ikke

burde være til stede i omgivelserne. Fordi der er tale om spektralmålinger, kan systemet identificere, hvilket radioaktivt stof der i så fald er tale om.

Måleudstyret er anskaffet med henblik på at kunne måle et eventuelt nedfald fra uheld i nukleare anlæg. Det mobile måleudstyr kan dog også anvendes som assistance til andre myndigheder. Det er blandt andet blevet anvendt til undersøgelser i forbindelse med klimatopmødet COP15 og ved kortlægning af naturlig radioaktivitet i forbindelse med radon-undersøgelser.

Det er tanken, at Beredskabsstyrelsen med det nyimplementerede mobile måleudstyr skal deltage i erfaringsudveksling og øvelsesvirksomhed sammen med de øvrige nordiske lande.

Nukleare målestationer

I 2011 begyndte arbejdet med udskiftning af permanente målestationer i Danmark. Dette arbejde efterfulgte en opsætning af nukleare målestationer i Grønland. De nye målestationer i Danmark og Grønland er af samme type og foretager såvel spektralmålinger som dosismålere, så der er altid foretages målinger, selvom et af de to måleinstrumenter går i stykker. Måleresultaterne sendes til overvågningssystem, som giver automatisk alarm ved høje radioaktivitetsmålinger. De nye målesystemer vil i 2012 blive nøje afprøvet, før de gamle målesystemer nedtages.

Beslutningsstøttesystem ARGOS

Måleresultaterne fra de mobile målesystemer kan hentes direkte ind i Beredskabsstyrelsens beslutningsstøttesystem, ARGOS, hvor visningen på et landkort giver hurtigt overblik over, hvilke områder af Danmark som eventuelt er berørt af et (muligt) udslip fra et kernekraftværk i udlandet.

ARGOS benytter oplysninger om vejrliget fra Danmarks Meteorologiske Institut til at beregne prognoser for spredning af en eventuel radioaktiv forurening. ARGOS er en del af et internationalt samarbejde, som udover Danmark omfatter mere end 10 lande. I Danmark beregnes dagligt ved brug af ARGOS automatiske prognoser for de nukleare kraftværker, der er tættest på Danmark.

ARGOS modtager kontinuerligt måleresultater fra Beredskabsstyrelsens nukleare målesystemer i Danmark, som måler døgnet rundt.

4 Nuklear sikkerhed

4.1 Fukushimaulykken

Hændelsesforløbet

Det nøjagtige hændelsesforløb af Fukushimaulykken er endnu ikke helt afklaret, og beskrivelsen i det følgende baserer sig på oplysninger frem til 1/3-2012.

Fredag den 11. marts 2011 klokken 14.46 (6.46 dansk tid) blev Japan ramt af et meget kraftigt jordskælv. Jordskælvet, der blev målt til 9,0 på Richterskalaen, havde sit epicenter omkring 130 km ud for Japans nordøstlige kyst. Ved jordskælvet udløstes en tsunami i hele stillehavsregionen.

Cirka 50 minutter efter jordskælvet ramte tsunamien kysten, hvor Fukushima Daiichi-kernekraftværket er beliggende.



Fukushima Daiichi-kernekraftværket har seks reaktorer. Reaktor 1, 2 og 3 var i drift, da jordskælvet indtraf. Reaktor 4, 5 og 6 var nedlukkede for regelmæssigt serviceeftersyn. Det brugte brændsel fra de nedlukkede reaktorer var anbragt i brændselsbassiner øverst i reaktorbygningerne.

Jordskælvet medførte, at de tre reaktorer, der var i drift, automatisk lukkede ned, så kædeprocessen stoppede. Samtidig startede dieselgenerators op og sikrede nødstrømsforsyningen til anlæggene.

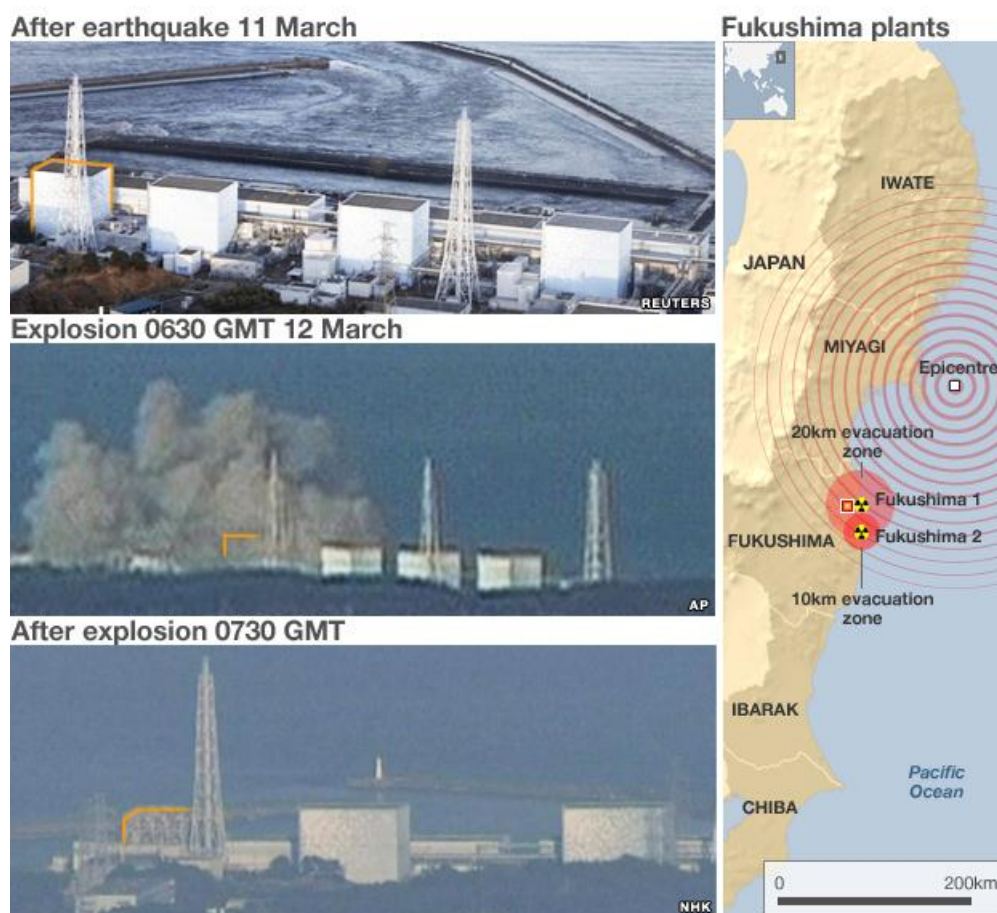
Da tsunamien derefter skyllede ind over anlægget, blev kældrene på de fire første reaktorer oversvømmet med saltvand. Kældrene rummede dieselgenerators og hovedparten af det elektriske udstyr. Derfor blev nødstrømsforsyningen slået ud. Det betød, at kølingen til reaktorerne og brændselsbassinerne ikke længere fungerede. Jordskælvet havde desuden ødelagt alle eksterne elektricitetsforbindelser til værket.

På grund af den svigtende køling steg temperaturen i reaktorbeholderne, hvilket førte til skader på brændslet. Temperaturforøgelsen betød også, at der udvikledes brint, som efter et stykke tid forårsagede tre eksplosioner i reaktorbygningerne.

Samtidigt steg trykket i reaktorindeslutningerne så meget, at det blev nødvendigt at lede luft og damp ud for at forhindre, at indeslutningerne blev beskadiget. Derved blev der også udledt store mængder radioaktivt materiale til omgivelserne.

Det lykkedes senere at iværksætte nødkøling af reaktorerne med havvand, som blev pumpet ind ved hjælp af brandpumper. Dette begrænsede yderligere skader på reaktorerne. Brændslet i brændselsbassinerne ved reaktor 1-4 manglede også køling, og de fik først tilført tilstrækkelige mængder kølevand, da en meget stor betonpumpe nåede frem.

Reaktorbrændslet i de tre reaktorer skønnes at være delvist smeltet, men hvor meget er fortsat usikkert. Brændslet i bassinerne synes derimod at være intakt.



Figur 4.1. Fukushima-Daiichi værket. Billeder fra hændelsesforløbet

Status og afhjælpende foranstaltninger

I månederne efter ulykken kæmpede man for at bringe de tre havarerede reaktorer i såkaldt ”kold nedlukning”, hvilket betyder, at temperaturen i reaktorkernen skal være under 100°C, trykket under en bar, den fortsatte køling af kernen skal være stabil og pålidelig (jordskælvssikret), og udslippet af radioaktive stoffer til omgivelserne skal være standset. Den kolde nedlukning blev opnået for alle tre enheder kort før jul 2011, altså næsten 9 måneder efter ulykken.

Enhed 1 er blevet kapslet ind for at forhindre, at radioaktivt støv spredes til omgivelserne. En tilsvarende indkapsling planlægges for de øvrige enheder.

I brændselsbassinet hørende til enhed 4, hvor der var oplagret store mængder brugt brændsels, er betondækket blevet forstærket, idet man frygtede, at det var blevet beskadiget under jordskælvet med fare for sammenstyrtning.

For at fjerne eftervarmen fra både reaktorerne og brændselsbassinerne er der brug for kølevand i størrelsesordenen 10 m³/time for hver enhed. Man har etableret et system, hvor vandet, man tilfører kernen, recirkuleres, efter det har været igennem en varmeveksler og et rensningssystem, hvor de radioaktive stoffer filtreres fra. Kølevandet,

man tilfører kernen, strømmer gennem huller i bunden af reaktoren ud i reaktorindeslutningen, hvorfra det så recirkuleres.

I begyndelsen af 2012 var tilstanden følgende på de 3 enheder:

	Unit 1	Unit 2	Unit 3
Kølevandscirkulation [liter/time]	6.000	8.800	8.900
Reaktor tryk [atm]	1.04	1.06	1.0
Reaktor temperatur top [°C]	29.9	58.8	53.8
Reaktor temperatur bund [°C]	30.5	61.7	60.8
Reaktorindeslutning tryk [atm]	0.8	0.9	1.8

Temperaturen i brændselsbassinerne ses i tabellen nedenfor.

	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6
Bassintemperatur [°C]	11	18	13	20	17	16

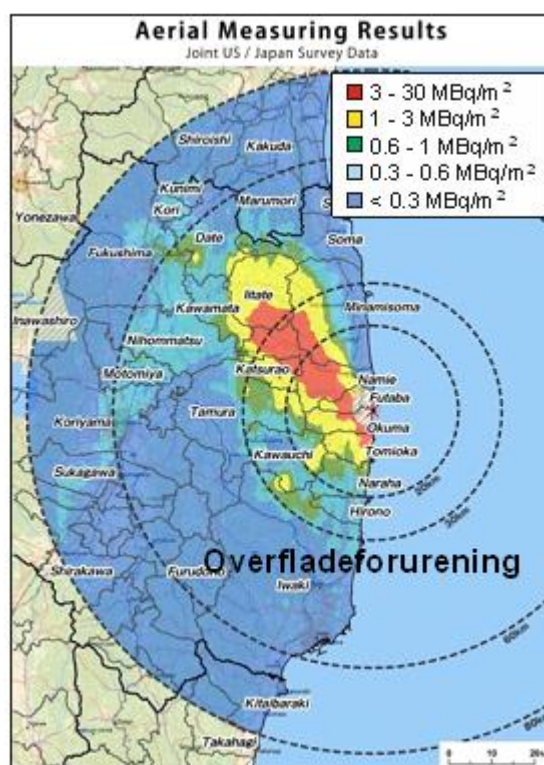
TEPCO, ejeren af Fukushimaværket, har i samarbejde med de japanske nukleare myndigheder, NISA, udarbejdet en såkaldt Roadmap for oprydning og dekommissionering af værket. Roadmappen har tre faser, se nedenfor, hvor den sidste fase først vil være afsluttet efter ca. 40 år.

Phase 1	Phase 2	Phase 3
0 – 2 år	2 – 10 år	10 – 40 år
Flytte brugte brændsels-elementer fra reaktor-bassiner til centralt lager	Forberedelser til at fjerne ødelagt brændsel fra reaktorerne	Egentlig dekommissionering
Reducere strålingen på anlægget ved at rydde op og fjerne hot spots Gennemføre omfattende vandrensning for at reducere mængderne af radioaktivt affald. Målet er en dosis på højst 1 mSv/år ved værkets grænser	Dekontaminere det indre af bygningerne herunder også containment. Fylde reaktortankene med vand	Fjernelse af det ødelagte brændsel fra reaktorerne Implementere affalds-behandling og depot for radioaktivt affald
Sideløbende etableres intens træning og motivering af personalet med henblik på at mindske uheld og opnå mindst mulig dosisbelastning		

Lokale konsekvenser af ulykken

Jordskælvet og den efterfølgende tsunami medførte, at brændselselementerne i de tre reaktorer, der var i drift, smeltede. Store mængder af radioaktive stoffer, hovedsageligt jod og cæsium, blev herved frigjort og spredt i omgivelserne omkring værket.

Det japanske ”Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology” (MEXT) offentliggjorde på den 56. dag efter ulykken for første gang omfanget af forureningen med de radioaktive cæsium-isotoper, ^{134}Cs og ^{137}Cs , af landområderne omkring værket. Forureningen blev målt med luftbåret måleudstyr og udført af det amerikanske Department of Energy (DOE). Forureningen medfører strålingsudsættelse af befolkningen, både fra ekstern bestråling og fra intern bestråling via spisning af forurenede fødevarer. Den målte forurening med radioaktivt cæsium er vist på figur 4.2.



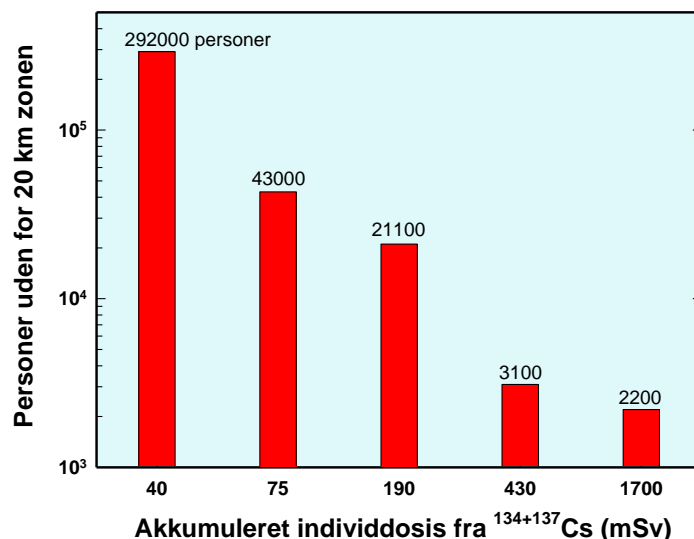
Figur 4.2. Overfladeforurening af $^{134+137}\text{Cs}$ målt med luftbåret måleudstyr.

Frankrigs ”Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire” (IRSN) publicerede i foråret 2011 en rapport, der beskriver befolkningsfordelingen i de forurenede områder uden for 20 km evakueringszonen. På grundlag af DOE’s målte forureningsniveauer er der foretaget beregninger af eksterne γ -strålingsdoser til befolkningen uden for 20 km evakueringszonen. Fordelingen af akkumulerede indviddoser til befolkningen over de næste 50 år fra cæsium-forureningen er vist på figur 4.3. Doserne er under forudsætning af, at der ikke foretages nogen beskyttelsesforanstaltninger i form af oprensning eller fraflytning. Den samlede akkumulerede eksterne kollektivdosis over 50 år vil dermed være omkring 25.000 person·Sv.

Til sammenligning er den kollektive dosis fra den naturligt forekommende baggrundsstråling til den samme befolkning omkring 40.000 person·Sv over den samme tidsperiode. Den kollektive strålingdosis til de berørte befolkninger og til de involverede oprydningsarbejdere (de såkaldte ’liquidators’) i Hviderusland, Ukraine

og Rusland efter Tjernobyl-ulykken udgør knap 160.000 person·Sv for perioden 1986 - 2036 (ekskl. kollektivdosis til skjoldbruskkirtlen). Den kollektive ækvivalentdosis til skjoldbruskkirtlen til befolkningen i de tre republikker er opgjort til 1,6 mio. person·Sv.

Udover den eksterne bestråling fra deponeret radioaktivt materiale vil befolkningen få strålingsdoser fra indånding af radioaktive stoffer under passagen af den radioaktive sky samt doser fra indtag af forurenede fødevarer. Omfanget af disse strålingsdoser er endnu ukendte, men den hurtige evakuering af befolkningen inden for en 20 km radius samt de indførte restriktioner på forurenede fødevarer har formodentlig begrænset de interne doser både inden for og uden for 20 km zonen betragteligt, så de er markant lavere end de eksterne doser fra deponeret aktivitet.



Figur 4.3. Strålingsdoser til befolkningen fra deponeret $^{134+137}\text{Cs}$ uden for 20 km evakueringszonen over de næste 50 år under forudsætning af, at der ikke foretages beskyttelsesforanstaltninger.

De helbredsmæssige konsekvenser af Fukushima-ulykken som følge af den radioaktive forurening kan ikke opgøres på nuværende tidspunkt, da de samlede doser endnu ikke kendes, men de forventes at blive væsentligt mindre end de helbredsmæssige konsekvenser af Tjernobyl-ulykken.

Beslutningen om hurtigt og præventivt at evakuere befolkningen inden for 20-km-zonen pga. risikoen for udslip har imidlertid betydet, at strålingsdoserne til befolkningen er begrænset. Evakueringen har været opretholdt i en meget lang periode, fordi der i denne periode har været risiko for yderligere udslip af radioaktive stoffer fra de ødelagte reaktorer.

Ud fra de målte forureningsniveauer med luftbåret måleudstyr kan det konkluderes, at der vil være behov for oprensning i de mest forurenede områder, også uden for 20-km-zonen, og at tilbageflytning til de mest forurenede områder bør ikke finde sted, før forureningen med radioaktive stoffer i områderne er blevet reduceret.

4.2 EU's stresstest

Jordskælvet i Japan i marts 2011 med den deraf følgende tsunami medførte ikke bare omfattende ødelæggelser i Japan, men førte også til den voldsomme ulykke på kernekraftværket Fukushima Daiichi. Ulykken understregede, at følgerne af en ulykke på et kernekraftværk kan være både omfattende og vidtrækkende, ikke kun lokalt, men også regionalt og globalt.

Mens ulykken var en følge af jordskælvet og tsunamien blev ulykkens omfang imidlertid forstærket af sammenfaldet af hændelserne. Omfanget af ulykken var ikke forudset ved etableringen og myndighedernes godkendelse af værket.

Foranstaltninger i EU – Det Europæiske Råd

Som følge af ulykken i Japan besluttede Det Europæiske Råd i marts 2011, at alle kernekraftværker i EU's medlemsstater skulle underkastes en såkaldt stresstest med henblik på at afdække, om værkerne ville kunne modstå en række naturskabte eller menneskeskabte katastrofer.

Det Europæiske Råd bad derfor Kommissionen om at foranstalte såkaldte stress tests – en bedømmelse af værkernes robusthed over for en række nærmere angivne hændelser og sammenfald af omstændigheder.

Kommissionen udviklede derpå sammen med European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG) en metodik for gennemførelsen af stresstests. Metodikken blev i praksis udviklet af Vesteuropæiske Nukleare Tilsynsmyndigheders Sammenslutning (WENRA) og derefter adopteret af Kommissionen og af ENSREG.

Metodikken indebærer bl.a., at værkernes robusthed vurderes i forhold til såvel naturkatastrofer som menneskeskabte katastrofer af samme omfang og karakter som de omstændigheder, der gjorde sig gældende ved Fukushima-ulykken. Kernekraftværkerne i EU's medlemsstater vurderes derved i forhold til omstændigheder, som ikke nødvendigvis har indgået i grundlaget for værkernes sikkerhedsdesign. Det indebærer, at værkernes robusthed testes ud over angiveligt forventelige eller sandsynlige forhold, hvilket er en logisk følge af, at ulykken i Japan indtraf og udviklede sig netop på grund af sådanne omstændigheder.

Det Europæiske Råds beslutning om at gennemføre stress tests omfatter alle kernekraftværker i EU's medlemsstater, men Det Europæiske Råds beslutning omfatter også opfordring til at gennemføre stresstests i nabolande og på verdensplan. En række nabolande har tilsluttet sig EU's stresstests og disse omfatter derfor også Schweiz og Ukraine. Armenien, Hviderusland, Kroatien, Rusland og Tyrkiet vil gennemføre lignende vurderinger og vil inddrage kriterier og scenarier som i EU's stresstests, men de pågældende lande følger ikke fuldstændig samme metodik.

Formålet med at stressteste kernekraftværkerne i EU's medlemsstater er at afdække, hvilke implikationer og følger forskellige katastrofer vil have, og fokus rettes særligt mod forhold, som går ud over, hvad der har indgået i grundlaget for værkets sikkerhedsdesign. Dette betegnes som omstændigheder ”beyond design basis”.

De europæiske stresstests fokuserer på en række scenarier og sikkerhedsforhold, som er basis for en ”yderligere sikkerhedsvurdering”;

- Naturkatastrofer: Jordskælv, oversvømmelser og ekstreme vejrforhold
- (Uventet) bortfald af sikkerhedssystemer: Strømfald, herunder totalt udfald af strømforsyning og nødstrømsforsyning, tab af kølesystem og kombination af strømfald og tab af kølesystem
- Modforanstaltninger ved omfattende ødelæggelser: Foranstaltninger til sikring af reaktorindeslutning, anvendelse af ventilationssystemer, bortledning af varme, aflastning af tryk m.v.

Gennemførelsen af stresstests

Stresstestens metodik omfatter tre trin:

- Operatørerne af kernekraftværkerne skal foretage en vurdering af værkernes robusthed over for de kriterier, som indgår i den yderligere sikkerhedsvurdering.
- Tilsynsmyndighederne i de enkelte lande skal gennemgå operatørernes rapporter med henblik på at bedømme, hvorvidt de er fyldestgørende, og tilsynsmyndighederne skal udfærdige egne rapporter herom, herunder skal det i tilsynsmyndighedernes rapporter indgå, hvorvidt der herved er fremkommet forhold, der giver anledning til at revidere gældende krav til driften af de pågældende kernekraftværker.
- Review-teams, som er sammensat af eksperter fra EU's medlemsstater, skal ved peer-reviews gennemgå de nationale rapporter med henblik på at bedømme, om de nationale tilsynsmyndigheder har foretaget en tilstrækkelig kritisk og tilfredsstillende bedømmelse af operatørernes rapporter for at sikre, at der herved samlet er sket en tilstrækkelig bedømmelse i forhold til de opstillede kriterier og scenarier.

Operatørernes selvevalueringer forelå i endelig form ved udgangen af oktober 2011, og operatørernes rapporter blev afleveret til de nationale myndigheder.

De nationale myndigheders gennemgang af operatørernes rapporter blev herefter igangsat og de nationale myndighedernes bedømmelse forelå ved udgangen af december 2011, hvor de nationale myndigheder indgav landerapporter til Kommissionen.

Gennemførelse af peer reviews finder sted i februar, marts og april 2012 og gennemføres ved, at grupper af eksperter ad to gange gennemgår de nationale rapporter. En dansk ekspert indgår i dette arbejde. Ved den første gennemgang foretages en generel, tværgående bedømmelse af rapporternes behandling af de forskellige emner, naturkatastrofer, bortfald af sikkerhedssystemer og modforanstaltninger ved omfattende ødelæggelser. Herved dannes et generelt billede af værkernes robusthed over for de pågældende hændelser og af eventuelt påkrævede foranstaltninger. Ved den anden gennemgang bedømmes, om tilsynsmyndighederne i de enkelte medlemsstater har behandlet de forskellige forhold tilstrækkeligt, herunder om tilsynsmyndighedernes bedømmelse og eventuelle krav om nye foranstaltninger i tilstrækkelig grad sikrer den fornødne robusthed af værkerne.

Resultatet af stress tests

Formålet med gennemførelse af stresstests er ikke at opstille absolutte kriterier, i forhold til hvilke de enkelte kernekraftværker kan bedømmes objektivt og herefter karakteriseres som sikre eller ikke sikre.

Bedømmelse af de enkelte kernekraftværkers sikkerhedsmæssige status er et løbende ansvar for de nationale tilsynsmyndigheder, men ved gennemførelsen af stresstestene sker der en sikkerhedsmæssig vurdering, som ligger udover, hvad er indgået i de oprindelige nationale vurderinger og fastsættelse af krav. Herved kan det bedømmes, om det grundlag, som de hidtidige krav er fastsat efter, udgør et tilstrækkeligt grundlag i lyset af den viden og de erfaringer, som ulykken i Japan har ført til.

ENSREG, som efter aftale med Kommissionen forestår gennemførelsen af stress tests, vil på et møde i slutningen af april 2012 drøfte afslutningen af stresstests på grundlag af peer reviews, hvorved det tredje trin afsluttes. Kommissionen afleverer herefter en rapport til Det Europæiske Råd, som på sit møde i juni 2012 vil drøfte forholdene vedrørende sikkerhed angående kernekraft i EU.

Herefter forventes Kommissionen at skulle overveje nærmere, om der skal gennemføres retlig regulering fra EU's side angående nuklear sikkerhed, hvilket eksempelvis kan angå krav af teknisk karakter og krav vedrørende sikkerhedskultur og organisation.

Ulykken i Japan understregede behovet for vedvarende at udvikle sikkerhedsarbejdet under hensyntagen til omstændigheder, som ikke umiddelbart forekommer forventelige eller sandsynlige.

Erfaringerne fra ulykken i Japan forventes at føre til overvejelser om en revision af en række internationale aftaler og konventioner, og ulykken i Japan vil således kunne få direkte følger i yderligere en række år.

En række dokumenter angående gennemførelsen af stresstests i EU, herunder de nationale rapporter, er offentligt tilgængelige på ENSREG's hjemmeside; <http://ensreg.eu/EU-Stress-Tests>. Tilsvarende er en række dokumenter tilgængelige på Kommissionens hjemmeside, herunder Kommissionens interimrapport fra december 2011; http://ec.europa.eu/energy/nuclear/safety/stress_tests_en.htm.

4.3 Andre sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft

INES-skalaen, "International Nuclear Event Scale", blev udviklet af IAEA og OECD i 1990 med henblik på at kunne informere offentligheden om den sikkerhedsmæssige betydning af nukleare hændelser og ulykker på en standardiseret form. Skalaen strækker sig fra niveau 0, hændelser uden sikkerhedsmæssig betydning, til niveau 7, de helt store ulykker. Se nærmere om INES i appendiks A.

De af IAEA's medlemslande, der er tilsluttet INES-systemet, er forpligtet til at rapportere hændelser på niveau 2 eller et højere niveau til IAEA. Hændelser på niveau 1 eller 0 skal kun rapporteres, såfremt disse skønnes at have særlig interesse for andre.

Ud over ulykken på Fukushima-værket, der er en niveau-7 ulykke (katastrofe), indtraf der i 2011 fire hændelser på niveau 2.

Laguna Verde-2-hændelsen den 19. januar 2011 i Mexico, INES-2

Mexico har kun et enkelt kernekraftværk, Laguna Verde, med to kogendevandsreaktorer (BWR). Værket ligger ved den mexicanske havbugt øst for Mexico City. Laguna Verde-2 har en effekt på 650 MWe.

Værkets turbiner er forsynet med et såkaldt turbine-trip-system, der sørger for, at reaktoren lukker ned, såfremt turbinens omdrejningstal bliver for højt. Forud for en afprøvning af de såkaldte mellemoverhedere havde man slået trip-systemet fra, men efter afprøvningen glemte man at slå det til igen, og man kørte derefter i ca. 40 minutter med reaktoren ved godt 40% af fuld effekt, uden at turbine-trip-systemet var slået til. Hændelsen blev vurderet til niveau 2.

Tricastin-3-hændelsen den 16. februar 2011 i Frankrig, INES-2

Tricastin-værket består af fire trykvandsreaktorenheder, hver med en effekt på 915 MWe. Værket ligger i det sydlige Frankrig ved en kanal, der munder ud i Rhone-floden ca. 65 km nord for Avignon.

Ved en rutinemæssig afprøvning svigtede en dieselgenerator på Tricastin-3. Årsagen var en dårlig lejekonstruktion, som findes i alle dieselgeneratorer af denne type. Dieselgeneratorer med dårlig lejekonstruktion eksisterede på dette tidspunkt på 26 franske kernekraftværker. Samtlige dieselgeneratorer på Tricastin-3 og Tricastin-4 havde denne lejekonstruktion, hvorfor hændelsen blev vurderet til niveau 2. Tricastin-1 og Tricastin-2 havde yderligere dieselgeneratorer af en anden type.

Doel-4-hændelsen den 18. marts 2011 i Belgien, INES-2

Belgien har to kernekraftværker, Tihange og Doel, med henholdsvis tre og fire trykvandsreaktorer (PWR). Doel-værket ligger i den flamske provins Østflandern tæt ved grænsen til Holland. Doel-værket er det kernekraftværk i Europa, der ligger i det tættest befolkede område, idet der bor ni millioner inden for en radius af 75 km. Doel-4 blev sat i drift i 1985 og har en effekt på 1039 MWe.

Under en nedlukning i 2009 blev en hjælpefødevandspumpe udskiftet. Der var vibrationsproblemer med den nye pumpe, og derfor blev dens omdrejningshastighed reduceret. Dette betød, at strømningshastigheden i tilfælde af en reaktorulykke ville være lavere end foreskrevet i sikkerhedsrapporten

Grundlæggende blev denne hændelse vurderet som en niveau-1 hændelse, men da hændelsen også viste problemer med sikkerhedskulturen, blev den opgraderet til en niveau-2 hændelse.

Kakrapar-2-hændelsen den 30. maj 2011 i Indien, INES-2

Kakra-værket, der består af to CANDU-enheder, hver med en effekt på 220 MWe, er beliggende i den nordvestlige del af Indien.

CANDU-reaktoren er en tungtvandsreaktor, hvor brændselelementerne befinder sig i vandrette trykrør, der er ført gennem tungtvandstanken (calandriatanken). Når der skiftes brændsel, overføres det udbrændte brændsel gennem en særlig kanal til et vandbassin for brugt brændsel.

Den 30. maj 2011 blev der udført malerarbejde tæt ved overførselskanalen. Da strålingsniveauet omkring kanalen stiger betydeligt under overførsel af brugt brændsel, fik kontrolrummets personale besked om ikke at overføre brugt brændsel denne dag mellem kl. 9.15 og 13.00. Ved en menneskelig fejl kom en reaktoroperatør til kl. 12 at trykke på knappen for igangsættelse af overførsel af brugt brændsel. Dette medførte, at fire arbejdere fik følgende helkropsdoser: 91 mSv, 67 mSv, 59 mSv og 23 mSv. Disse værdier ligger over den af myndighederne tilladte årlige dosis på 20 mSv. Dette vurderes som en niveau-2 hændelse.

4.4 Internationale forhold og konflikter

Iran

Iran har tre anlæg til fremstilling af lavt beriget uran, dels to anlæg ved Natanz, dels et i Fordow nær byen Qom. Anlæggene, der alle er baseret på ultracentrifuger, skal fremstille beriget uran med en berigning op til 20%. Det 20% berigede uran skal anvendes til fremstilling af brændselelementer til en forskningsreaktor, Teheran Research Reactor, mens det lavt berigede uran (3-5% berigning) anvendes til brændsel til kraftreaktorer. Siden fremstillingen af lavt beriget uran blev indledt i februar 2007, er der fremstillet ca. 5 tons lavt beriget uran. De tre anlæg er under IAEA-kontrol. FN's Sikkerhedsråd har henstillet til Iran, at man ophører med fremstillingen af beriget uran, en henstilling Iran har afvist at følge.

Der foreligger ikke evidens for, at der skulle findes andre berigningsanlæg i Iran, eller at Iran fremstiller højtberiget uran (ca. 90%), som er nødvendigt til fremstilling af kernevåben. Men det må erkendes, at når et land besidder 20% beriget uran og behersker centrifugeteknologien, vil det være relativt enkelt at fremstille 90% beriget uran. Det skal også nævnes, at man i Iran har arbejdet med laser-berigningsteknologi.

Iran har en 40 MWt forsøgsreaktor under opførelse. Ifølge foreliggende oplysninger skal denne anvende svagt beriget uran som brændsel. I en sådan reaktors brændsel vil der blive produceret plutonium, men Iran har meddelt, at landet ikke besidder et oparbejdningsanlæg, som er nødvendigt for at kunne udvinde den dannede plutonium.

IAEA har konstateret, at Iran fra 1970'erne og indtil for få år siden undlod at rapportere anskaffelse af, forsøg med og brug af nukleare materialer. Iran har senere givet oplysning om disse aktiviteter samt om de faciliteter, hvor de nukleare materialer blev håndteret, til IAEA. Iran oplyste i 2009 og 2010, at man planlagde at bygge yderligere 10 berigningsanlæg, men Iran har ikke senere givet nærmere oplysninger om disse anlæg. IAEA har endvidere fra andre medlemslande modtaget oplysninger om, at der i Iran foregik aktiviteter, der havde interesse for kernevåbenudvikling, f. eks fremstilling af uranmetal og fremstilling af specielle sprængladninger. Iran hævder, at disse aktiviteter enten ikke har fundet sted eller ikke havde noget med udvikling af kernevåben at gøre.

Nordkorea

I januar 2011 indbød Sydkorea Nordkorea til forhandlinger, der skulle forbedre relationerne mellem de to lande, men forhandlingerne kom ikke i gang. I august samme år angav Nordkorea, at man ønskede at genoptage seksmagtsforhandlingerne mellem Rusland, Kina, Nordkorea, USA, Japan og Sydkorea om landets kernevåbenprogram. Heller ikke disse forhandlinger synes at være kommet i gang. I december 2011 døde den nordkoreanske leder Kim Jong-il og hans søn Kim Il-sung blev indsat som hans efterfølger. Men dette lederskifte ser ikke ud til at give anledning til en ændring af Nordkoreas kernevåbenpolitik.

APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg

På foranledning af IAEA og OECD/NEA blev der i 1990 udviklet en skala til angivelse af den sikkerhedsmæssige betydning af uheld på nukleare anlæg og uheld ved transport af radioaktivt materiale.

Skalaen betegnes INES, International Nuclear Event Scale, og omfatter otte uheldsklasser, fra klasse 0 til 7 (se figuren). Hændelser, der ikke har nogen sikkerhedsmæssig betydning, placeres i klasse 0, mens alvorlige ulykker med udslip af store mængder radioaktivt materiale hører til klasse 7.

Uheldsklassen bestemmes ud fra tre kriterier:

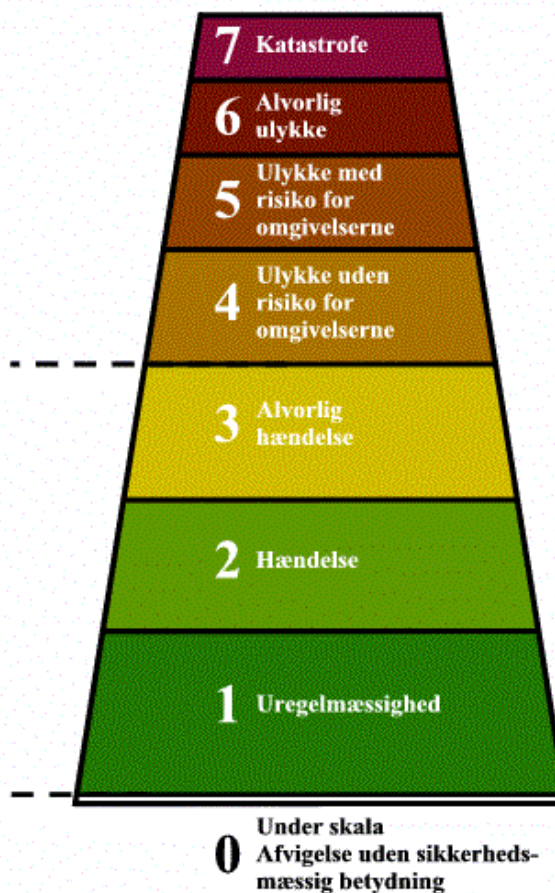
- Påvirkning af omgivelserne
- Påvirkning af anlægget
- Degradering af dybdeforsvaret (anlæggets sikkerhedssystem).

Uheld med påvirkning af omgivelserne ved udslip af radioaktivt materiale er det mest alvorlige kriterium og dækker klasse 3 til 7. Uheld, hvor der udelukkende sker en påvirkning af anlægget, f.eks. skader på reaktorkernen eller bestråling af personale, placeres i klasse 2 til 5. Det sidste kriterium, degradering af et anlægs dybdeforsvar, betyder, at en eller flere sikkerhedsbarrierer (tekniske/menneskelige) svigter. Uheld, hvor sikkerhedsbarrierer påvirkes, betegnes som hændelser og rubriceres fra klasse 1 til 3. Af de tre kriterier vil det, der giver den højeste klasse for uheldet, være det afgørende kriterium.

I alt 60 lande har i dag tilsluttet sig INES-systemet. Kort efter en hændelse skal ejeren af anlægget efter samråd med det pågældende lands sikkerhedsmyndighed beskrive hændelsen med angivelse af en (evt. foreløbig) INES-klasse. IAEA informerer derefter de lande, der har tilsluttet sig systemet, om den indtrufne hændelse og klassificering. Sikkerhedsmyndigheden kan efter behov efterfølgende korrigere klassificeringen, hvis myndigheden ved nærmere analyse finder en anden klasse mere korrekt.

Eksempler på INES-klassifikation

- INES-7: Tjernobyl, 1986. Havariet af Tjernobyl-4 reaktoren i Ukraine førte til omfattende påvirkninger af mennesker og miljø.
- INES-6: Kyshtym, 1957. En eksplosion på oparbejdningsanlægget i Kyshtym i Rusland medførte at store mængder radioaktivt affald blev spredt til omgivelserne.
- INES-5: Three Mile Island, 1979. Ulykken på kernekraftværket i Pennsylvania medførte en nedsmeltning af reaktorkernen, mens påvirkningen af omgivelserne var meget begrænset.



- INES-4: Tokai Mura, 1999. Kritikalitetsulykken på brændselsfabrikken Tokai Mura i Japan medførte en kraftig bestråling af personale.
- INES-3: Studsvik, 2002. En forsendelse af radioaktivt materiale fra Studsvik i Sverige til USA viste sig at have et stærkt forhøjet strålingsniveau uden for beholderen.

Kriterier for klassifikation af ulykker efter INES-skalaen

Trin/ Betegnelse	Begivenhed
7 Katastrofe	Udslip til omgivelserne af en stor del af det radioaktive materiale i et stort anlæg, f.eks. reaktorkernen på et kernekraftværk. Udslippet vil bestå af en blanding af kort- og langlivede radioaktive fissionsprodukter og kan føre til akutte stråleskader, sene stråleskader i et større område samt medføre alvorlige miljøkonsekvenser.
6 Alvorlig ulykke	Udslip til omgivelserne af radioaktivt materiale. Udslippet vil typisk kræve fuld iværksættelse af modforholdsregler for at modvirke alvorlige stråleskader.
5 Ulykke med risiko for omgivelserne	Udslip til omgivelserne af begrænsede mængder radioaktivt materiale. Udslippet vil typisk kræve delvis iværksættelse af modforholdsregler for at mindske sandsynligheden for stråleskader. Alvorlig skade på det nukleare anlæg, f.eks. skade på en stor del af en reaktorkerne, et stort kritikalitetsuheld, eller en brand, hvor større mængder radioaktivt materiale frigives inden for anlægget.
4 Ulykke uden risiko for omgivelserne	Udslip til omgivelserne af mindre mængder radioaktivt materiale, resulterende i strålingsdoser til de mest udsatte personer på nogle få millisievert (mSv). Udslippet kræver næppe iværksættelse af modforholdsregler, bortset fra eventuel lokal fødevarekontrol. Større skader på et kernekraftværk, f.eks. en delvis kernenedsmeltning, eller tilsvarende hændelser på andre nukleare anlæg. Bestråling af en eller flere arbejdere på anlægget, som medfører en stor sandsynlighed for dødsfald.
3 Alvorlig hændelse	Radioaktivt udslip til omgivelserne ud over de tilladte værdier, resulterende i strålingsdoser til de mest udsatte personer udenfor anlægget på nogle tiendedele af en millisievert. Udslippet vil muligvis ikke nødvendiggøre iværksættelse af modforholdsregler. Hændelse, hvor strålingsdoser til en eller flere arbejdere på anlægget kan føre til akutte stråleskader; og hændelse som resulterer i en alvorlig radioaktiv forurening af et område indenfor anlægget. Hændelse med store svigt i sikkerhedssystemet, hvor yderligere svigt af sikkerhedssystemet kan føre til en ulykke.
2 Hændelse	Hændelse med store svigt i sikkerhedsforholdene, men med tilstrækkelig dybdeforsvar tilbage til at modstå yderligere svigt. Hændelse hvor en eller flere arbejdere får en strålingsdosis, der overskrider den tilladte årlige grænseværdi; og hændelse som resulterer i en betydende radioaktiv forurening i dele af anlægget.
1 Uregelmæssighed	Hændelse, hvor betingelserne for drift overskrides, f.eks. ved afvigelse fra tekniske specifikationer eller brud på transportregulativer, men hvor dybdeforsvaret fortsat er betydeligt.

APPENDIKS B: Internationale organisationer

EURATOM

EURATOM-traktaten er en af EU's oprindelige traktater. Hovedelementerne i traktaten er strålingsbeskyttelse af såvel arbejdstagere som befolkningen i almindelighed, forsyning med fissile materialer, sikring af sådanne materialer mod misbrug til uautoriserede formål (safeguards) og generelle aspekter som forskning og formidling af information. Sikkerhed ved drift af nukleare anlæg og håndtering af radioaktivt affald har primært været nationale anliggender med internationalt samarbejde omkring standardisering og "best practice" m.m. I de senere år har kommissionen imidlertid også taget initiativer på disse områder, f.eks. har den i 2003 foreslået direktiver vedr. sikkerhed ved nukleare anlæg og håndtering af radioaktivt affald.

<http://euratom.org>

IAEA

International Atomic Energy Agency (IAEA) er en international organisation under FN, som har til formål at fremme det internationale videnskabelige og teknologiske samarbejde om den fredelige udnyttelse af nuklear teknologi, herunder kernekraft-teknologi. Organisationen blev grundlagt i 1957 som en kulmination af de internationale bestræbelser for at følge op på Præsident Eisenhowers "Atoms for Peace"-program fra 1953. Med udgangen af 2006 havde organisationen 144 medlemsstater og der var indgået safeguard-aftaler med 156 lande.

IAEA formidler overførsel af nuklear teknologi og viden på området til udviklingslandene. IAEA udvikler standarder inden for nuklear sikkerhed og arbejder derigennem på at opnå og vedligeholde et højt niveau for sikkerheden ved nuklear energiproduktion og for beskyttelsen af mennesker og miljø mod de skadelige virkninger af ioniserende stråling. Som et led i ikke-spredningsaftalen (NPT) overvåger IAEA, at de nukleare anlæg og materialer, som medlemsstaterne har tilmeldt IAEA's inspektionssystem, kun anvendes til fredelige formål.

IAEA har hovedkvarter i Wien, Østrig, hvor der er ansat ca. 2300 medarbejdere.

www.iaea.org

www.iaea.org/programmes/a2/index.html: IAEA's Nuclear Power Reactor Information System (PRIS), med data om verdens kernekraftværker mv.

www-news.iaea.org/news: IAEA's Nuclear Events Web-based System, med information om INES-hændelser.

OECD/NEA

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) er udsprunget af Organisation for European Economic Co-operation (OEEC), som blev oprettet for at administrere Marshall-planen for den europæiske genopbygning efter 2. verdenskrig. OECD har i dag 30 medlemslande, der alle bekender sig til en demokratisk styreform og markedsøkonomi. OECD's opgave er at støtte medlemslandenes økonomiske og administrative udvikling og fremme samarbejdet mellem landene inden for økonomi, uddannelse, teknologi og forskning m.m. Nuclear Energy Agency (NEA) er en organisation inden for OECD. NEA's formål er at støtte medlemslandenes fortsatte udvikling af det videnskabelige, teknologiske og lovgivningsmæssige grundlag for en sikker, miljøvenlig og økonomisk udnyttelse af kerneenergien til fredelige formål. NEA har et tæt samarbejde med EU-

kommissionen og en samarbejdsaftale med IAEA. NEA samarbejder også med ikke-medlemslande i Central- og Østeuropa. NEA har i dag 28 medlemslande.

NEA støtter en række samarbejdsprojekter medlemslandene imellem vedrørende nuklear sikkerhed, strålingsbeskyttelse, håndtering af radioaktivt affald og dekommissionering m.m. NEA har sit hovedsæde i Paris, Frankrig. Arbejdet er organiseret i en række komitéer med deltagelse af mere end 500 eksperter fra medlemslandene.

www.nea.fr

UNSCEAR

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) er en videnskabelig komite under FN. Den blev etableret i 1955 som reaktion på de atmosfæriske prøvesprængninger af nukleare våben og det medfølgende globale radioaktive nedfald. Det er komiteens opgave at indsamle og evaluere information om niveauerne af ioniserende stråling og radioaktivitet stammende fra både menneskeskabte og naturlige kilder og at studere de mulige virkninger på mennesker og miljø.

UNSCEAR består af videnskabsmænd fra 21 medlemslande. Danmark er ikke medlem. De 21 medlemslande har hver én repræsentant i komiteen. Komiteen og sekretariatet arbejder sammen med videnskabsmænd over hele verden for at etablere databaser over eksponeringer til ioniserende stråling og information om eksponeringernes virkning. UNSCEAR's hovedsæde ligger i Wien.

www.unscear.org

WANO

The World Association of Nuclear Operators (WANO) er en global forening af alle selskaber, der driver kernekraftværker. WANO formidler samarbejde og udveksling af driftserfaringer mellem operatørerne med det formål at opnå den højest mulige sikkerhed og pålidelighed for kernekraftværkerne.

www.wano.org.uk

WENRA

Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) er en sammenslutning af lederne af en række vesteuropæiske landes nukleare tilsynsmyndigheder. Sammenslutningen omfatter Belgien, Bulgarien, Finland, Frankrig, Holland, Italien, Litauen, Rumænien, Schweiz, Slovakiet, Slovenien, Spanien, Storbritannien, Sverige, Tjekkiet, Tyskland og Ungarn. Sammenslutningens formål er at udvikle en fælles tilgang til kernekraftsikkerhed med hovedvægten på EU-området.

www.wenra.org

WNA

The World Nuclear Association (WNA) er en global samarbejdsorganisation for industrivirksomheder, der arbejder inden for den nukleare industri, omfattende kernekraftværker og alle aspekter af brændselskredsløbet. WNA's formål er at være det globale forum for den nukleare industri og at informere om nukleare spørgsmål.

www.world-nuclear.org

Nordiske myndigheder

Beredskabsstyrelsen, Danmark

www.brs.dk

www.brs.dk/nuc/default.asp: Beredskabsstyrelsens Nukleare Kontor; oplysninger om det danske atomberedskab.

www.info.nucinfo.dk/denmark: Nucinfo, Beredskabsstyrelsens informationsværktøj vedrørende nukleare forhold.

Statens Institut for Strålebeskyttelse (SIS), Danmark

www.sis.dk

Geislavarnir Ríkisins, Island

www.gr.is

Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), Finland

www.stuk.fi

Statens Strålevern, Norge

www.nrpa.no

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM), Sverige

www.stralsakerhetsmyndigheten.se

APPENDIKS C: Anvendte forkortelser

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor, den avancerede kogendevandsreaktor
ACR	Advanced CANDU Reactor, tungtvandsmodereret reaktor med letvandskøling og svagt beriget uran
ADS	Accelerator Driven System
AECL	Atomic Energy of Canada Ltd
AERB	Atomic Energy Regulatory Board (Indien)
AES-2006	Russisk PWR-enhed
AGR	Advanced Gas-cooled Reactor, den engelske, avancerede gaskølede reaktor
AHWR	Advanced Heavy Water Reactor, indisk udviklet tungtvandsreaktor
ALLEGRO	Prototype gaskølet hurtigreaktor
ANS	Fransk nukleart sikkerhedsagentur
ATMEA-1	Reaktor under udvikling af Areva og Mitsubishi Heavy Industries
AP-1000	Westinghouse's Advanced Power reactor (PWR) på 1000 MWe
APR-1400	Advanced Pressurized Reactor, sydkoreansk trykvandsreaktor på 1400 MWe
APWR	Advanced Pressurized Water Reactor
ARGOS	Accident Reporting and Guiding Operational System, Beredskabsstyrelsens beslutningsstøtteprogram
ASE	Atomstroyexport, russisk firma, der eksporterer kernekraftværker
ASTRID	Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration, prototype natriumkølet hurtigreaktor
ATEL	Schweizisk elforsyningselskab
BARC	Bhaba Atomic Research Center (Indien)
BN	Hurtig reaktor (russisk)
BREST	Russisk blykølet hurtigreaktor
BRS	Beredskabsstyrelsen
BWR	Boiling Water Reactor, kogendevandsreaktor
CANDU	Canadian Deuterium Uranium, den canadiske tungtvandsreaktor af trykrørstypen
CDF-Suez	Fransk el-selskab
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, fransk statslig atomenergikommission
CEFR	China Experimental Fast Reactor
CEZ	Tjekkisk el-selskab
CFHI	China First Heavy Industries
CGNPC	China Guangdong Nuclear Power Company, kinesisk kernekraftselskab
CIAE	China Institute of Atomic Energy
CIRUS	Indisk forsøgsreaktor, leveret af Canada
CNNC	China National Nuclear Corporation, kinesisk kernekraftselskab
CNP-600	China Nuclear Plant 600, kinesisk 600 MWe PWR enhed
CNS	Council of Nuclear Safety (Indien)
CO ₂	Kuldioxyd
COL	Construction and Operation Licence, kombineret amerikansk byggedriftstilladelse
CPR-1000	Kinesisk udviklet trykvandsreaktor
DoE	Department of Energy (USA)
DTU	Danmarks Tekniske Universitet
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development, den europæiske udviklingsbank for Central- og Østeuropa
EdF	Electricité de France, det franske, statslige el-selskab

ENSREG	European Nuclear Safety Regulators Group
EPG-6	Lille russisk reaktor af RBMK typen
EPR	European Pressurized Reactor, trykvandsreaktor udviklet i et samarbejde mellem Framatome og Siemens
ESBWR	Economic Simplified Boiling Water Reactor, økonomisk, forenklet kogendevandsreaktor
ESP	Early Site Permit, forhåndsgodkendelse i USA af arealer til bygning af kernekraftenheder
EU	Den Europæiske Union
EURATOM	EU-traktat om nukleare forhold
EVN	Electricity of Vietnam
FAE	De Forenede Arabiske Emirater
FEP	Fuel Enrichment Plant, iransk berigningsanlæg
FFEP	Fordow Fuel Enrichment Plant, iransk berigningsanlæg
FBR	Fast Breeder Reactor, hurtig formeringsreaktor
FBTR	Fast Breeder Test Reactor, indisk formerings-forskningsreaktor
GCC	Gulf Cooperation Council, samarbejdsorgan for lande på den arabiske halvø
GCR	Gas Cooled Reactor, gaskølet reaktor
GE	General Electric (USA)
GIF	Generation IV Forum, samarbejdsorganisation vedrørende 4. generations reaktorer
GFR	Gas cooled Fast Reactor, gaskølet hurtigreaktor
GNEP	Global Nuclear Energy Partnership, USA ledet samarbejde om etablering af internationale brændselscentre
GPS	Global Position System
GWe	Gigawatt elektrisk
HTR-PM	Højtemperatur reaktor (Kina)
IAEA	International Atomic Energy Agency, FN's atomenergiagentur
IEA	International Energy Agency, OECEs energiagentur
IERP	Integrated Electricity Resource Plan (Sydafrika)
IGCAR	Indira Gandhi Centre for Atomic Research (Indien)
INES	International Nuclear Event Scale, IAEA's skala for radiologiske og nukleare uheld
IPR	Intellectual Property Rights
IRSN	Institut de Radioprotection et de Surete Nuclaire
JAEC	Den jordanske atomenergikommission
JINED	International Nuclear Energy Development of Japan Co. Ltd., japansk kernekraftkonsortium
JSFR	Japanese Sodium Fast Reactor, japansk hurtigreaktor
KEPCO	Korea Electric Power Corporation, sydkoreansk elselskab
KHNP	Korea Hydro & Nuclear Power Company, sydkoreansk elselskab
KLT40S	Russisk skibsreaktor
kWh	Kilowatttime
KWU	Kraftwerkunion (tysk reaktorfirma)
LFR	Lead cooled Fast Reactor, blykølet hurtigreaktor
LWR	Light Water Reactor (BWR og PWR)
MBIR	Russisk multi-formåls hurtigreaktor
METI	Ministeriet for Økonomi, Handel og Industri (Japan)
MeV	Megaelektronvolt
MEXT	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (Japan)
MHI	Misubishi Heavy Industries, japansk reaktorfirma
MOX	Mixed OXide fuel, reaktorbrændsel fremstillet af en blanding af plutonium- og urandioxid
MSR	Molten Salt Reactor, reaktor med flydende brændsel

MWe	Megawatt elektrisk
MYRRHA	Multi-purpose hybrid research reactor for high-tech applications, belgisk hybrid ADS-LFR reaktor
NDA	Nuclear Decommissioning Authority, britisk tilsynsmyndighed for dekommissionering
NEA	Nuclear Energy Agency, OECD's kerneenergiorganisation
NEK	Bulgarsk statsligt el-selskab
NISA	Nuclear Industrial Safety Agency(Japan)
NMP	Nuclear Management Partners (UK)
NPCIL	Nuclear Power Corporation of India Ltd, indisk kernekraftselskab
NPT	Non Proliferation Treaty, ikke-spredningsaftalen
NRC	Nuclear Regulatory Commission, USA's reaktorsikkerhedsmyndighed
NSG	Nuclear Suppliers Group, international gruppe, der kontrollerer eksport af komponenter til nukleare anlæg
NSRA	Nuclear Safety Regulatory Authority (Indien)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OEEC	Organisation for European Economic Co-operation
OKG	Svensk elselskab under E.On Sverige, operatør af Oskarshamn kernekraftværk
OPG	Ontario Power Generation, canadisk elselskab
OPR-1000	Syd-koreansk Optimized Power Reactor (PWR) på 1000 MWe
PBMR	Pepple Bed Modular Reactor, højtemperatur reaktor med kugleformede brændselelementer
PFEP	Pilot Fuel Enrichment Plant, iransk berigningsanlæg
PHWR	Pressurized Heavy Water Reactor, tungtvands-modereret trykvandsreaktor
PRIS	Power Reactor Information System, IAEA's database for kraftreaktorer
PWR	Pressurized Water Reactor, trykvandsreaktor
RBMK	Reaktor-stor-effekt-kanaltype, russisk reaktor med grafit moderator og kogendevandskøling (Tjernobyl-typen)
RWE	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk, tysk el-selskab
SCR-CEN	CEN står for Centre Energie Nuclaire. SCR står formmentlig for nogenlunde det samme på flamsk
SCRO	State Council Research Office (Kina)
SCWR	SuperCritical Water cooled Reactor, superkritisk vandkølet reaktor
SFR	Sodium cooled Fast Reactor, natriumkølet hurtigreaktor
SIS	Statens Institut for Strålehygiejne
SNC-Lavalin	Canadisk reaktorfirma
SNI	Sviluppo Nucleare Italia, italiensk-fransk elselskab
SPD	Det tyske socialistparti
SSM	Strålsäkerhetsmyndigheten (Sverige)
STUK	Den finske myndighed for nuklear- og strålingssikkerhed
SVBR	Svintsovo-Vismutovyi Bystryi Reaktor, russisk bly-bismuth-kølet reaktor
SWR-1000	Fransk-tysk udviklet kogendevandsreaktor
TEPCO	Tokyo Electric Power Company, japansk elselskab, operatør af Fukushima-værket
TVA	Tennessee Valley Authority, amerikansk elektricitetsselskab
TVO	Teollisuuden Voima Oy, finsk el-selskab
TWh	Terawatt-time, 1 TWh = 1 milliard kWh
UF ₄	Urantetrafluorid
UF ₆	Uranhexafluorid
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, videnskabelig komité under FN om virkninger af stråling

USAPWR	Mitsubishi's Advanced Pressurized Water Reactor for det amerikanske marked
USD	Amerikanske dollar
USEPR	Amerikansk udgave af den franske EPR
VHTR	Very High Temperature Reactor, meget høj temperatur reaktor
VVER	Vand vand energi reaktor, russisk udgave af trykvandsreaktoren
VVM	Vurdering af Virkninger på Miljøet
WANO	World Association of Nuclear Operators, global organisation for el-selskaber med kernekraftværker
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association, organ for europæiske reaktorsikkerhedsmyndigheder
WNA	The World Nuclear Association, global sammenslutning af virksomheder inden for den nukleare industri

The Center for Nuclear Technologies (DTU Nutech) at the Technical University of Denmark is the Danish center of competency for nuclear technologies. With roots in research in the peaceful use of nuclear power, DTU Nutech works with the applications of ionizing radiation and radioactive substances for the benefit of society.

DTU Nutech
Center for Nukleare Teknologier
Danmarks Tekniske Universitet

Frederiksborgvej 399
Postboks 49
4000 Roskilde
Telefon 4677 4677
Fax 4677 5688

www.nutech.dtu.dk

